

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Měření provozních veličin obnovitelných zdrojů s
připojením k Ethernetu**

Process Variables Measurement of Renewable Energy
Sources with
Ethernet Connection

Ostrava 2014

Aleš Snopek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Aleš Snopek**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika

Téma: Měření provozních veličin obnovitelných zdrojů s připojením k Ethernetu

Process Variables Measurement of Renewable Energy Sources with EthernetConnection

Zásady pro vypracování:

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací jednotky, která umožňuje v definovaných periodách měřit rozličnou škálu provozních veličin obnovitelných zdrojů energie, včetně meteorologických. Cílem je realizovat jednoduchý měřicí řetězec s připojením na internet.

V souhrnu je práce charakterizována těmito body:

1. Rešerše možností hardwarových platforem ve formě malých osobních počítačů.
2. Návrh a realizace rozšíření základní desky o digitální a analogové linky.
3. Návrh a implementace ovladače rozšíření.
4. Návrh a implementace monitorovací aplikace.
5. Provedení testů a zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] GOOK, Michael. *Hardwarová rozhraní - Průvodce programátora*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 463 s. ISBN 978-8025110195.
- [2] CATSOULIS, John. *Designing Embedded Hardware*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005, xvi, 377 s. ISBN 978-0596007553.
- [3] KERRISK, Michael. *The Linux Programming Interface: A Linux and UNIX System Programming Handbook*. San Francisco: No Starch Press, c2010, xliii, 1506 s. ISBN 978-1593272203.
- [4] VIRIUS, Miroslav. *Jazyky C a C++, kompletní průvodce*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2011, 367 s. Knihovna programátora (Grada). ISBN 978-80-247-3917-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

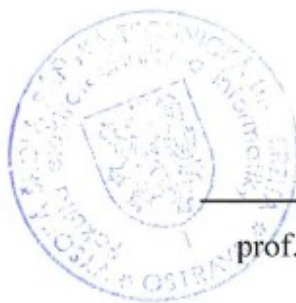
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

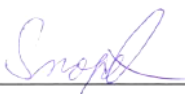


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 6.5.2014



Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat za odbornou pomoc a konzultaci vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Zdeňkovi Slaninovi, Ph.D., Ing. Jirkovi Kazárikovi. Dále své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací rozšiřující desky pro minipočítač Raspberry Pi, se kterou lze měřit provozní veličiny obnovitelného zdroje. Ovladače pro rozšiřující desku jsou napsány v programovacím jazyce C a jsou kompatibilní s operačním systémem Linux.

Výsledkem bakalářské práce je minipočítač s rozšiřující deskou obsahující aplikaci pro ovládání zařízení na rozšiřující desce s možností přístupu z Ethernetové sítě. Bakalářská práce slouží jako podklad k dalšímu vývoji monitorovací aplikace obnovitelných zdrojů.

Klíčová slova

Raspberry Pi, Linux, programovací jazyk C, Ethernetová síť, obnovitelný zdroj

Abstrakt

The bachelor thesis deals with the design and implementation of expansion boards for the Raspberry Pi minicomputer, which can be used for measuring operating values of renewable resources. Drivers for expansion boards are written in the C programming language and are compatible with Linux.

The result of this work is a minicomputer with expansion board containing the application to control devices on the expansion board with access using Ethernet network. Bachelor thesis serves as a basis for further development of monitoring application for renewable resources.

Keywords

Raspberry Pi, Linux, C programming language, Ethernet network, a renewable resource

Seznam zkratek

ADC	Analogově číslicový převodník, (Analog to Digital Converter)
AM/PM	Časové období dopoledne/odpoledne, (ante meridiem/post meridiem)
A/D	Analogově - digitální převodník
ARM	Zdokonalený počítač typu RISC, (Advanced RISC Machine)
FM	Frekvenční modulace, (Frequency Modulation)
CPU	Centrální výpočetní jednotka , (Central Processing Unit)
GPU	Procesor k zesílení grafiky, (Graphics Processing Unit)
CVBS	Metoda analogového přenosu, (Color Video Blanc Sync)
GND	Zemní potenciál, (Ground)
GPIO	Univerzální vstup/výstup, (General-purpose input/output)
HDD	Pevný disk, (Hard Disc Drive)
HDMI	Digitální rozhraní používané mezi zdrojem audio a video signálu, (High-Definition Multi-media Interface)
I/O	Vstupy/výstupy, (input, output)
I ² C	Druh sběrnice, (Inter-Integrated Circuit)
I ² S	Sběrnice pro audio připojení, (Integrated Interchip Sound)
JATG	Standard definovaný normou IEEE1149.1, (Joint Test Action Group)
LED	Světloemitující dioda, (Light Emitting Diode)
PCIe	Sběrnice PCI o vyšším taktu a přenosové rychlosti, (Peripheral Component Interconnect Express)
PWM	Pulsně šířková modulace, (Pulse Width Modulation)
RGB	Červená-Zelená_Modrá, (Red-Green-Blue)
SCL	Hodinový signál sběrnice I ² C, (Serial Clock)
SoC	Systém na čipu, (System on chip)
SPDIF	Formát digitálního rozhraní firem Sony a Philips,(Sony-Philips Digital Interface Format)
SPI	Druh sběrnice, (Serial Peripheral Interface)
SATA	Seriál ATA
TTL	Tranzistorově tranzistorová logika, (Transistor Transistor logic)
UART	Univerzální asynchronní přijímač-vysílač, (Universal asynchronous receiver/transmitter)
USB	Univerzální sériová sběrnice, (Universal Serial Bus)
VGA	Grafické video pole, (Video Graphics Array)
WiFi	Komunikační standard pro bezdrátový přenos dat, (Wireless Fidelity)

Obsah

1	Úvod	1
2	Rešerše možností hardwarových platforem ve formě malých osobních počítačů	2
2.1	Raspberry Pi.....	2
2.2	Cubieboard.....	3
2.3	BeagleBone Black.....	4
2.4	Odroid-X2	5
2.5	MinnowBoard Max	7
2.6	Výběr nejvhodnější základní desky	8
3	Návrh a realizace rozšíření základní desky o digitální a analogové linky.	9
3.1	Důležité prvky použité na rozšiřující desce	9
3.1.1	Zdroj	9
3.1.2	GPIO Expandér	9
3.1.3	Hodiny reálného času	10
3.1.4	Teplotní senzor	10
3.1.5	Převodník I ² C/RS 485	11
3.1.6	Napěťový převodník	11
3.1.7	Budič diferenciální sběrnice	12
3.1.8	A/D převodník	12
3.2	Blokové schéma rozšiřující desky	13
3.3	Navržení rozšiřující desky	14
3.4	Realizace rozšiřující desky	15
4	Návrh a implementace ovladače rozšíření.	16
4.1	Instalace operačního systému Raspbian.....	16
4.2	Návrh ovladače	17
4.2.1	Příprava platformy	17
4.3	Otestování zařízení	19
4.3.1	Ověření funkčnosti PCF8575	19
4.3.2	Ověření funkčnosti LM75	19
4.3.3	Ověření funkčnosti MCP7940M	21
4.3.4	Ověření funkčnosti SC16IS752	22
5	Návrh měřicí aplikace	23
5.1.1	Program na PCF8575	24

5.1.2	Program na LM75	25
5.1.3	Program na MPC7940M.....	26
5.1.4	Program SC16IS752	27
5.1.5	Aplikace.....	28
6	Závěr.....	29
	Seznam příloh	33

Seznam obrázků

Obrázek 1 Raspberry Pi [6]	3
Obrázek 2 Cubiboard [9]	4
Obrázek 3 BeagleBone Black [7]	5
Obrázek 4 Odroid-X2[10]	6
Obrázek 5 MinnowBoard Max [8]	7
Obrázek 6 TMR 6-1211[11]	9
Obrázek 7 PCF8575[13]	10
Obrázek 8 MCP7940M[15]	10
Obrázek 9 LM75[13]	11
Obrázek 10 SC16IS752[14]	11
Obrázek 11 TXB0108PWR[17]	11
Obrázek 12 SN75176A[16]	12
Obrázek 13 AD7991[18]	12
Obrázek 14 Blokové schéma rozšiřující desky	13
Obrázek 15 Návrh rozšiřující desky	14
Obrázek 16 Základní menu Raspberry Pi	16
Obrázek 17 Mapa I ² C detekovaných zařízení v konzole	18
Obrázek 18 Vývojový diagram aplikace	28
Obrázek 19 Osvět solární elektrárny	30

1 Úvod

Dlouhá desetiletí se lidstvo snaží vyvinout co nejučenější způsob získávání energie z obnovitelných zdrojů. Ke zjednodušení výzkumu, popřípadě usnadnění provozu obnovitelného zdroje je úkolem této bakalářské práce. Důležité tedy je co nejefektivněji měřit provozní veličiny a dále je přeposílat na server pomocí Ethernetové sítě. Vznik takového zařízení značně usnadní provoz využívání energií obnovitelných zdrojů, přehledným zobrazením naměřených hodnot a taky zabránění poruše včasným upozorněním na nečekanou změnu hodnot.

Cílem bakalářské práce je navrhnout hardware, který dokáže v jednotném čase měřit různou škálu provozních veličin jako je napětí, proud, výkon, rychlost, teplota, vlhkost a další. Dále bude potřeba, aby všechny změřené veličiny bylo možné zobrazovat ve vizualizační aplikaci na vzdáleném středisku. Pro tyto účely je potřeba vybrat nejvhodnější hardwarové zařízení, které bude mít nízkou provozní spotřebu a stabilní chod.

Při výběru hardwarového zařízení byl zvolen minipočítač, který má velmi malou spotřebu 3W a využívá flexibilního a stabilního operačního systému Linux. Zařízení obsahuje Ethernetový port, dále 26 GPIO konektor, který obsahuje sběrnice I²C, SPI, UART a osm digitálních vstupně výstupních pinů. [6]

Pro účely mého měření bylo potřeba navrhnout rozšiřující desku kompatibilní se zvoleným minipočítačem. Rozšiřující deska obsahuje expandér, který přidá dalších 16 I/O portů, dále převodník sběrnice I²C a RS 485, teplotní čidlo pro chlazení čipu Raspberry Pi a pro synchronizaci času je přidán generátor reálného signálu, který je napájen baterií a zaručuje nám, aby byla možné ke každé změřené hodnotě přidat časovou stopu, kde i v případě odpojení od internetu je možná synchronizace.[2]

Pro správnou funkčnost rozšiřující desky byla navržena aplikace komunikující se zařízeními po sběrnici I²C. Aplikace je vytvořena v programovacím jazyce C. Umožňuje číst teplotu, nastavit porty expandéru, vysílat data po sběrnici RS 485 a k tomu přiřazovat aktuální čas.

2 Rešerše možností hardwarových platforem ve formě malých osobních počítačů

Během posledních tří let se rozšířil trh se zařízení využívající procesorovou architekturu ARM. Od roku 2008, kdy ceny procesorů dosáhly nižších cen a vyšších výkonu, patří mezi tyto zařízení populární minipočítače, které jsou vyvinuté především pro zkvalitnění a dostupnější studium softwarového vývojářství. Minipočítače používají operační systémy podporující architekturu ARM, kde nejvíce využívané jsou linuxové distribuce, mezi nejznámější patří například Android.

Vývoj těchto minipočítačů byl tak rychlý, že vzniklo hned několik výrobků a proto bylo možné pro tuto práci vybrat co nejvhodnější typ s pořizovací cenou do 100 \$.

2.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi je nejznámější programovatelný minipočítač na trhu. Je o velikosti desky 85 x 55 mm. Tento počítač vyvinula britská nadace Raspberry Pi s cílem zvýšení kvality výuky programování. Nadace Raspberry Pi vznikla spoluprací několika nadšenců a spojením s firmou Norcott Technologies. Nadace měla velký ohlas díky dodávání Raspberry Pi do rozvojových zemí a školství, proto dostávala sponzorské dotace a díky nim vznikla velká komunita příznivců podporující vývoj Raspberry Pi.

Základem tohoto počítače je čip BCM2835 od společnosti Broadcom. Tento čip obsahuje procesor ARM1176JZF5(ARM11) s taktovací frekvencí 700MHz, grafický procesor Videocore 4, který je schopen přehrávání vysokého rozlišení. Pod čipem je uložena operační paměť RAM o velikosti 512 MB.

Nemá základní systém ani pevný disk, paměť je řešena pomocí SD karty. Operační systém se nahraje na SD kartu a ten musí být podporující procesorovou architekturu ARM.

Hardwarové rozhraní Raspberry Pi se skládá z dvou USB 2.0 portů, HDMI a AV video výstupu. Dále je na desce napájecí konektor ve formě μ USB, Ethernet 100Mbit/s, audio výstup 3.5mm konektor a 26 pinový rozšiřující port. Výrobci Raspberry Pi preferují systém volně přístupného a šiřitelného software, nazývaný se open source software. [6]



Obrázek 1 Raspberry Pi [6]

Parametry Raspberry Pi

- CPU ARM11 (700MHz),
- GPU VideoCore IV,
- RAM 512MB DDR2,
- SoC Broadcom BCM2835,
- SD slot (max 32GB),
- 26 GPIO -(I²C, SPI, UART, 8x digital I/O),
- USB 2.0 (2x),
- napájení μ USB (5VDC, 2A),
- Audio výstup 3,5mm konektor,
- HDMI, AV video výstup,
- Ethernet 10/100 Mbit/s.

2.2 Cubieboard

Cubieboard je minipočítač od čínského výrobce Cubieboard. Tento minipočítač byl navrhnut především proto, aby se stal hlavní konkurencí Raspberry Pi ve vývojovém prostředí software a robotice. Výhodou oproti Raspberry Pi je integrovaný SATA řadič a interní 4 GB Flash paměť pro ukládání dat. Dále je možné připojení Wifi nebo Bluetooth modulu, které není v ceně. Základní deska je o rozměrech 100 x 60 mm.

Jeho základem je čip Allwinner A10 obsahující výkonnější procesoru ARM cortex-A8 s taktovací frekvencí 1 GHz, grafický procesor ARM Mali-400, větší a rychlejší operační paměť 1GB DDR3. Minipočítač preferuje operační systémy s podporou architektury ARM.

Hardwarové rozhraní Cubieboard má možnost připojení HDMI a VGA video výstupu, 2x USB 2.0 port, 1x mini USB 2.0, Ethernet 100Mbit/s, SATA port k připojení 2,5" HDD, napájecí konektor ve formě μ USB a 96 pinový rozšiřující port. Rozšiřující port se vyznačuje velkou možností připojení, jako je I²C, SPI, VGA, RGB, CSI, FM, ADC, CVBS, SPDIF, Touch panel. [9]



Obrázek 2 Cubieboard [9]

Parametry Cubieboard

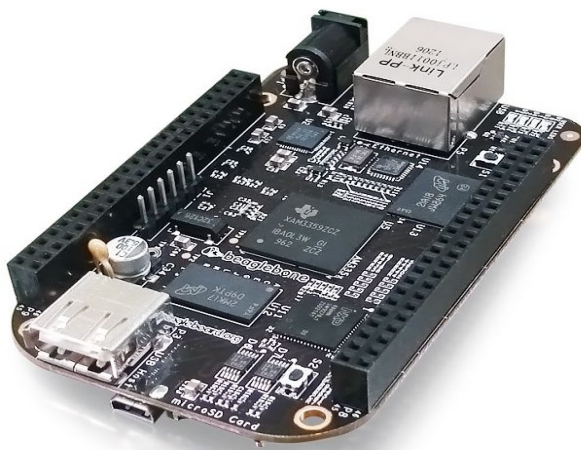
- CPU 1GHz ARM Cortex-A8,
- GPU ARM Mali - 400,
- RAM 1 GB DDR3,
- SoC Allwinner A10,
- 4GB Nand Flash,
- μ SD slot (max 64GB),
- 96 GPIO pin-(I²C,SPI, RGB, CSI, FM,ADC,CVBS,VGA,SPDIF, Touch),
- USB 2.0 (2x),
- napájení μ USB (5VDC,2A),
- HDMI video výstup,
- SATA port (2,5"HDD),
- Ethernet 10/100 Mbit/s.

2.3 BeagleBone Black

BeagleBone Black je nejnovější minipočítač od firmy Texas Instruments, která ve spolupráci s Digi-Key vyvíjí minipočítače už několik let. Hlavní záměr vývoje byl nahrazení velkých počítačů za menší, levnější a s nižší spotřebou charakterizující notebook. Dnes se společnost zabývá vývojem software a hardware především ke zdokonalení výuky ve školství. Desky minipočítačů jsou navrženy tak, aby byly open source software a hardware. Rozměry základní desky 86 x 53 mm

Základem počítače je čip Ti Sitara AM3359 obsahující procesor ARM Cortex-A8 s taktovací frekvencí 1 GHz, grafický procesor PowerVR SGX530, operační paměť 512 MB DDR3 a k dispozici je 2GB Flash paměť pro ukládání dat. BeagleBone Black má již předinstalovaný operační systém Linux. BeagleBone Black je považován mezi hlavní konkurenty Raspberry Pi.

Hardware rozhraní BeagleBone Black má video výstup ve formě μ HDMI, USB host, mini USB pro napájení nebo komunikaci, Ethernet 100Mbit/s, μ SD slot a 92 pinový rozšiřující port. Rozšiřující port obsahuje 65 x digitální vstup/výstup, 7 x analogový vstup, SPI, I²C, PWM, hodinový signál. [7]



Obrázek 3 BeagleBone Black [7]

Parametry BeagleBone Black

- CPU 1GHz ARM Cortex-A8,
- GPU PowerVR SGX530,
- RAM 512MB DDR3,
- SoC Ti AM3359,
- 2 GB Flash paměť,
- μ SD slot (max 32GB),
- 92 GPIO pin (62 x digitál I/O, 7 x analog, SPI, I²C, PWM, timers),
- USB 2.0 (1x), μ USB 2.0(1x),
- napájení μ USB (5VDC, 2A),
- μ HDMI video výstup,
- Ethernet 10/100 MBit/s.

2.4 Odroid-X2

Odroid-X2 je výkonný minipočítač od korejské společnosti Hardkernel. Tato společnost vyvíjí minipočítače především pro vývoj mobilních technologií a minipočítače pro běžné využití v domácnosti. Všechny své produkty staví na platformě Exynos4412 Prime od společnosti Samsung, kde se tuto platformu využívá ve svých mobilních telefonech Galaxy S III. Tímto Hardkernel poukazuje na směr vývoje, kde se spíše věnují výkonu než hardwarovým rozhraním a jejich možnostem. Při vzniku minipočítače společnost preferuje open source software. Android - X2 je hlavně vyvinut pro operační systém Android, ale je zde možné využít systému Linuxových distribucí. K počítači lze dokoupit adaptér WiFi včetně antény. Rozměry základní desky 48 x 52 mm.

Základem počítače je čip Exynos 4412 Prime obsahující procesor ARM Cortex-A9 quad-core (čtyř jádrový) a grafický procesor Mali-400 MP. Operační paměť počítače činí 2 GB LPDDR2. Nemá interní paměť pro data, proto se používá ve formě SD karty na, kterou se obraz systému nahraje a minipočítač si ho sám nainstaluje.

Hardwarové rozhraní Odroid-X2 má video výstup ve formě μ HDMI, audio vstup/výstup (2 x konektor 3.5mm). Dále je tu možnost připojení až 6x USB 2.0, 1x μ USB 2.0, Ethernetový řadič sdílející svou přenosovou rychlost s USB porty. Pro ladění softwaru je tu čtyř kolíkový sériový port se 1,8 V logikou. Rozšiřující port je 50 pinový obsahuje I²C, SPI, UART, ADC a digitální vstupně výstupní rozhraní.[10]



Obrázek 4 Odroid-X2[10]

Parametry Odroid-X2

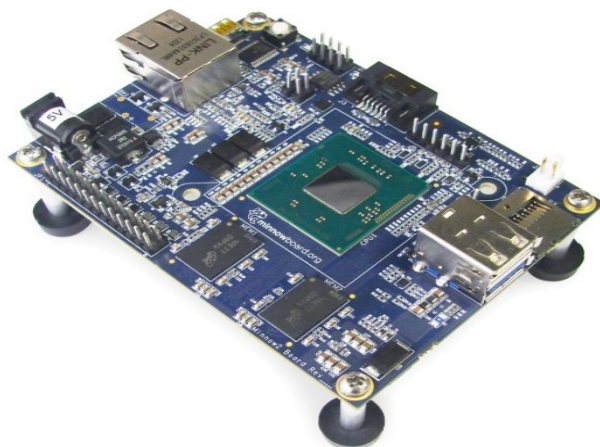
- CPU 1.7GHz Quad-core ARM Cortex-A9,
- GPU Mali-400 (Quad-core 440MHz),
- RAM 2GB DDR2,
- SoC Exynos 4412 Prime,
- SD slot,
- 50 GPIO pin (I²C, SPI, UART, ADC, digitální I/O),
- USB 2.0 (6x),
- μ USB (1x),
- μ HDMI video výstup,
- napájecí konektor (5VDC, 4A),
- Ethernet 10/100 Mbit/s.

2.5 MinnowBoard Max

MinnowBoard Max je druhá generace minipočítačů od společnosti Intel Corporation. Vzhledem k vzestupu procesorové architektury ARM, která disponuje svou malou velikostí a nízkou pořizovací cenou je MinnowBoard první konkurence schopná verze minipočítače využívající procesorovou architekturu x86. Intel chce novým modelem především zaujmout průmyslový trh, kde minipočítač disponuje vysokým výkonem a není problémem vyšší pořizovací cena. Minipočítač je předkládán téměř v open source platformě a byla vytvořena nová komunita nazývaní se MinnowBoard. Na minipočítač lze nainstalovat jakýkoliv operační systém podporující procesorovou architekturu x86. Výrobce je preferován systém Linux nebo Android 4.4

Základem minipočítače procesor 64-bit Intel Atom E38xx dodáván v jedno nebo dvou jádrovém provedení. Dále obsahuje poměrně výkonný grafický čip Intel HD 4000. Také je možné výběr ze tří velikostí Ram a to 1GB, 2GB nebo 4GB. Deska obsahuje interní 8 GB Flash paměť a možnost připojení μ SD karty.

Hardwarové rozhraní MinnowBoard disponuje dvěma rozšiřujícími konektory s rozdílnými rychlostmi. Vysokorychlostní konektor 60 pinový obsahuje PCIe, vysokorychlostní SATA připojení, I²C, GPIO, JTAG, +5V, GND a USB 2.0 port. Menší a pomalejší 26 pinový konektor obsahuje, SPI, I²C, I²S audio, UART, GPIO, +5V, GND. Také na desce jsou dva USB porty, jeden USB 2.0 a druhý USB 3.0. Jako video výstup slouží μ HDMI port. Je zde vysokorychlostní Ethernet port. Celá deska je napájena 5VDC portem.[8]



Obrázek 5 MinnowBoard Max [8]

Parametry MinnowBoard Max

- CPU 1.46GHz Single-core Intel Atom E3815,
- GPU Intel HD 400,
- RAM 2GB DDR3,
- SoC Atom E3800,
- μ SD slot,
- 26 GPIO pin (I2C, SPI, UART, I²S, digitální I/O),
- 60 GPIO vysokorychlostní pin (PCIe, SATA, USB, I²C, JTAG, digitální I/O),
- USB 2.0 (1x),
- USB 3.0 (1x),
- μ HDMI video výstup,
- napájecí konektor (5VDC),
- Ethernet 1 Gbit/s.

2.6 Výběr nejvhodnější základní desky

Z výše uvedených minipočítačů bylo vybráno pro tuhle bakalářskou práci Raspberry Pi. Z důvodu nízké pořizovací ceny, která byla oproti jiným výrobcům více než poloviční, velké komunitě zabývající se vývojem software a hardwaru. Navíc Raspberry Pi je open source což znamená volně šiřitelný zdrojový kód, software a hardware. Dále u Raspberry Pi je postačující hardwarová výbava i výkon, proto není třeba dražších modelů s více rozšířenou GPIO, nebo s výkonnějším procesorem a to by pro využití měření veličin bylo zcela zbytečné a nevyužité.

Tabulka 1 Srovnání HW platforem

Název desky	Cena	Processor	Frekvence CPU	SoC	GPU	RAM	Paměť	USB	GPIO	Wifi	HDMI	SATA	Paměťová karta
Raspberry Pi B	35\$	ARM 11	700MHz	BroadCom BCM2835	VideoCore IV	512MB DDR2	Ne	2	26	Ne	Ano	Ne	SD
Cubieboard	49\$	ARM Cortex-A8	1 GHz	Allwinner A10	Mali-400	1GB DDR3	4GB	2	96	Ano		Ano	SD
BeagleBoard Black	45\$	ARM Cortex-A8	1 GHz	Ti AM3359	PowerVR SGX530	512MB DDR3	2GB	2	92	Ne	μ HDMI	Ne	SD
Odroid-X2	100\$	Quad-core ARM Cortex-A9	1.7 GHz	Exynos 4412 Prime	Mali-400	2GB DDR2	Ne	6	50	Ano	μ HDMI	Ne	μ SD
MinnowBoard Max	99\$	Intel Atom E3815	1.4 GHz	Atom E3800	Intel HD 400	2GB DDR3	8GB	2	86	Ne	μ HDMI	Ano	μ SD

3 Návrh a realizace rozšíření základní desky o digitální a analogové linky.

Při tvorbě návrhu rozšiřující desky bylo potřeba zvážit a zohlednit požadavky zadání bakalářské práce, dostupnost technologie a jejich ceny. Hlavním požadavkem je, aby deska obsahovala rozšíření o digitální a analogové porty. Dále bylo potřeba možnost měření provozních veličin v určitých periodách s časovými údaji o měření a k tomu bylo potřeba generovat hodinový signál, který bude uchovávan i při výpadku napájecího napětí. Ještě se muselo zvážit, jakým způsobem se budou přenášet naměřená data a jak ovlivní jejich zpracování fungování samotného minipočítače.

3.1 Důležité prvky použité na rozšiřující desce

Jelikož jsou použity na rozšiřující desce mikročipy, které komunikují po sběrnicích SPI a I²C, bylo nutné rozhodnout, kterou sběrnici je dobré použít. Byly vybrány zařízení komunikující po sběrnici I²C, pro její jednoduchost zapojení. Po zvážení problematiky bylo rozhodnuto vynechání rozšíření desky o analogovou linku z důvodů minimálního využití v měření. Na rozšiřující desce jsou použity následující mikročipy a komponenty.

3.1.1 Zdroj

Zdrojová část se skládá z napěťového měniče a baterie, která slouží k uchování generovaného hodinového signálu při odpojení napájecího napětí. Napěťový měnič je od společnosti Traco Power s výstupním napětím 5 V DC, které je potřebné pro napájení samotného Raspberry Pi. Vstupní napětí v rozmezí 9-18 V DC a maximální výstupní proud činí 1200 mA. Celková účinnost měniče je 82 %.[11]

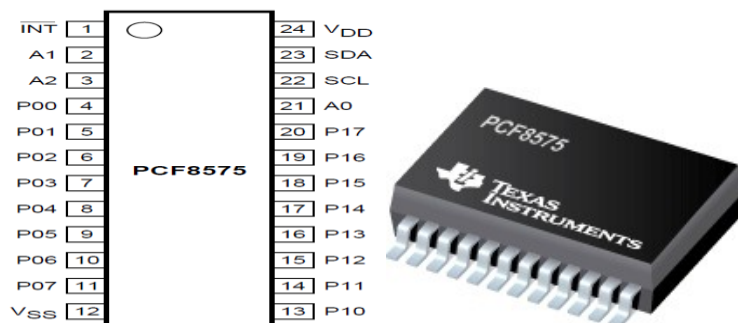


Obrázek 6 TMR 6-1211[11]

3.1.2 GPIO Expandér

Expandér je mikročip vykonávající funkci rozšiřujícího modulu o digitální vstupy a výstupy. Pro rozšiřující desku byl použit 16 - bitový expandér PCF8575, který rozšiřuje desku o šestnáct vstupně výstupních pinů. Těchto šestnáct pinů je rozděleno na osm vstupů a osm výstupů slouží jako

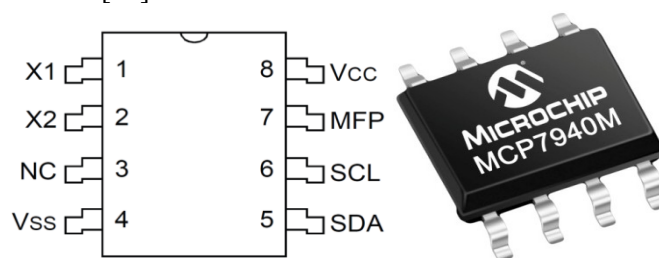
vnější ochrana měřeného zařízení, zdroje. Komunikace a konfigurace zařízení probíhá po sběrnici I²C a dosahuje rychlosti přenosu 400kb/s. [13]



Obrázek 7 PCF8575[13]

3.1.3 Hodiny reálného času

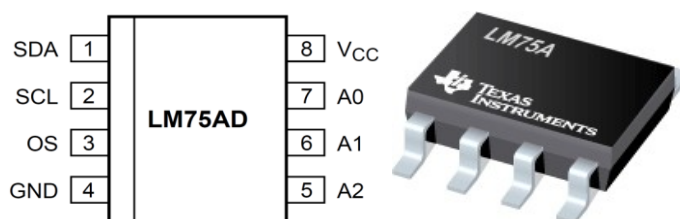
Mikročip označením MCP7940M slouží k synchronizaci času generováním hodinového signálu. Výstupní signál lze generovat ve čtyřech různých frekvencích. Mikročip je programovatelný pomocí sběrnice I²C. Pomocí příkazu lze nastavit datum, čas, který se automaticky přizpůsobuje měsíci a přestupnému roku. Je zde taky možnost nastavení hodinový formát s indikátorem AM/PM. Je velmi výhodný díky úspornému chodu. [15]



Obrázek 8 MCP7940M[15]

3.1.4 Teplotní senzor

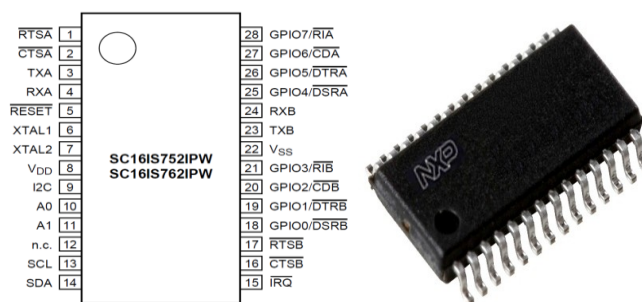
Z důvodu měření provozních veličin a jejich následném zpracování se Raspberry Pi bude více zahřívat a to může způsobit problémy s měřením. Kvůli tomu byl přidán na rozšiřující desku teplotní senzor, který má výstup pro spínání chladicího ventilátoru. Byl tedy vybrán mikročip LM 75 s programovatelným teplotně nastavitelným výstupním pinem. Teplotní senzor má rozsah měřené teploty od -55 °C do 125°C. Mikročip komunikuje po sběrnici I²C.[12]



Obrázek 9 LM75[13]

3.1.5 Převodník I²C/RS 485

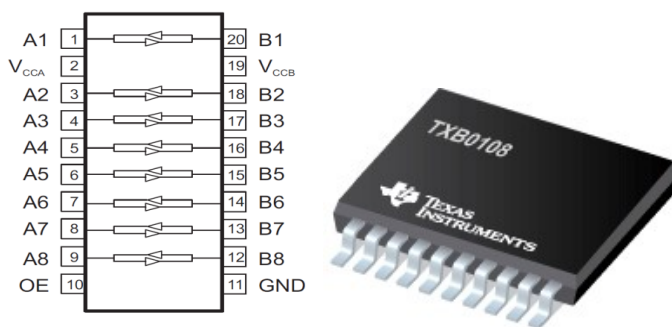
Mikročip SC16IS752 je převodník sběrnice I²C na RS 485. Převádí na dva kanály UART ze sběrnice I²C nebo SPI. Slouží k tomu, aby bylo možné přenášet data po sériové sběrnici. Tato sběrnice je plně obousměrná s rychlostí přenosu dat až 5Mbit/s. Podporuje standardy RS 232 a RS 485. Čip dále nabízí osm programovatelných vstupně výstupních pinů. Velkou výhodou je úsporný režim během doby, kdy se nepřenáší data. Veškerá komunikace a přenos vstupních dat probíhá po sběrnici I²C.[14]



Obrázek 10 SC16IS752[14]

3.1.6 Napěťový převodník

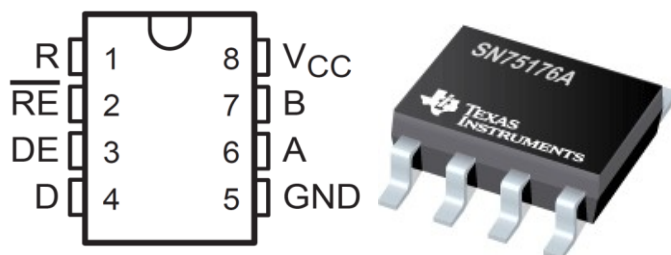
Vzhledem k tomu že výstup z konvertoru má TTL logiku 3,3V, ale pro správné fungování standardu RS-485 je potřeba TTL logické úrovně 5,5V. K tomu bylo potřeba mikročipu TXB0108PWR, který je 8 bitový napěťový převodník. Probíhá obousměrný převod kde port A má napěťový rozsah 1,2V až 3,6V. Port B má napěťový rozsah 1,65V až 5,5V. [17]



Obrázek 11 TXB0108PWR[17]

3.1.7 Budič diferenciální sběrnice

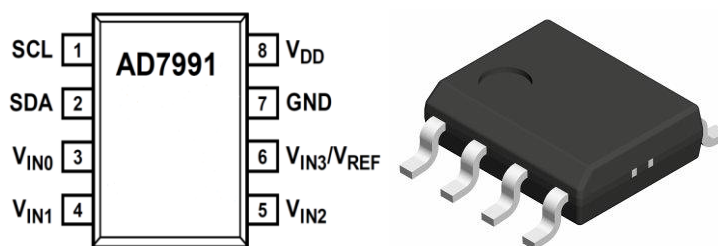
K možnosti propojení sběrnice UART na delší vzdálenost je potřeba obousměrného buzení, neboli posílení standardu RS-485. Tento standard má lepší vlastnosti na delší vzdálenost a taky je lépe odolný vůči rušením. Posílení diferenciální sběrnice zajišťuje mikročip SN75176A, který má navíc režim spánku pro snížení spotřeby aktivující se během doby, kdy nedochází k žádné komunikaci. [16]



Obrázek 12 SN75176A[16]

3.1.8 A/D převodník

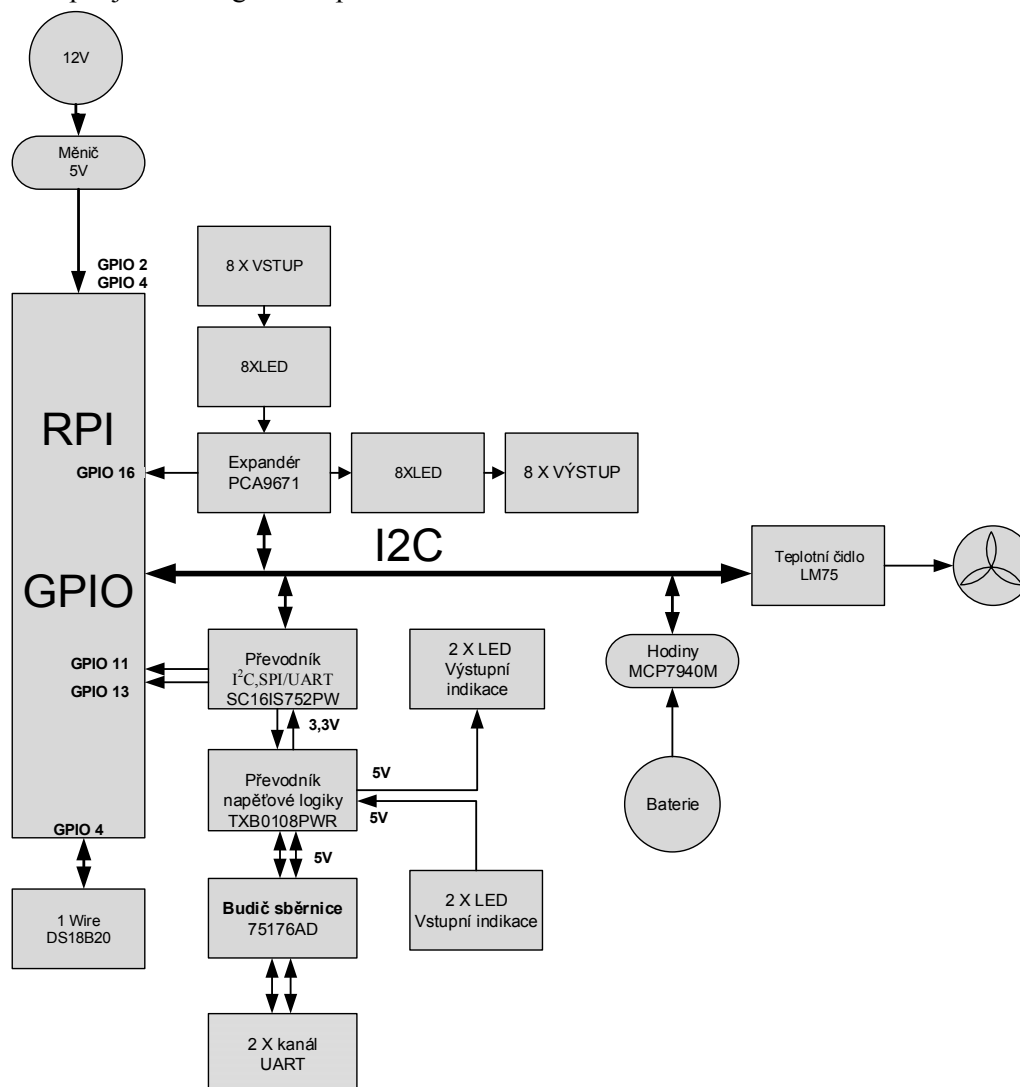
Při návrhu rozšiřující desky bylo zvažováno nad analogovými vstupy, jak je zmíněno v zadání bakalářské práce. Kvůli nedostatečnému využití při měření a následném zvětšení rozšiřující desky, byla tato možnost vyřazena z návrhu. Z hlediska analýzy by pro funkčnost vyhovoval mikročip AD7991. Toto zařízení je vstupní 12 bitový analogový převodník, který disponuje čtyřmi vstupy, kde tři vstupy můžou využívat referenční napětí, a na čtvrtý vstup lze připojit externí referenční vstup. Převod vstupní hodnoty trvá 1 μ s v napětíovém rozsahu 2,7V - 5,5V. Zařízení je programovatelné pomocí sběrnice I²C.[18]



Obrázek 13 AD7991[18]

3.2 Blokové schéma rozšiřující desky

Blokové schéma znázorňuje základní prvky ovlivňující chování rozšiřující desky. Základem je Raspberry Pi GPIO port a na pin 2, pin 4 je přivedeno napájecí napětí 5V přeměnič. Hlavní sériová sběrnice I²C po které komunikují všechny zařízení je připojena na pin 3 představující data (SDA) a pin 5 hodinový signál (SCL). Na sběrnici I²C jsou celkem připojené čtyři zařízení. Prvním podle adres je expandér PCF 8575, pak následuje teplotní čidlo LM75, převodník sběrnice I²C/RS 485 SC16IS752 a poslední hodiny reálného času MCP7940M. Pro vytvoření dvou kanálů RS 485 je zapotřebí tří zařízení a to převodníku sběrnice, převaděče napětové logiky a budiče diferenciální sběrnice. Činnost obou dvou kanálů je indikována diodami. Na sběrnici 1 Wire komunikuje externí připojitelné teplotní čidlo Dallas DS18B20. Tato sběrnice je jednovodičová a lze ji připojit pouze na GPIO 4, protože pouze tento pin je nakonfigurován pro komunikaci se sběrnici 1 Wire.



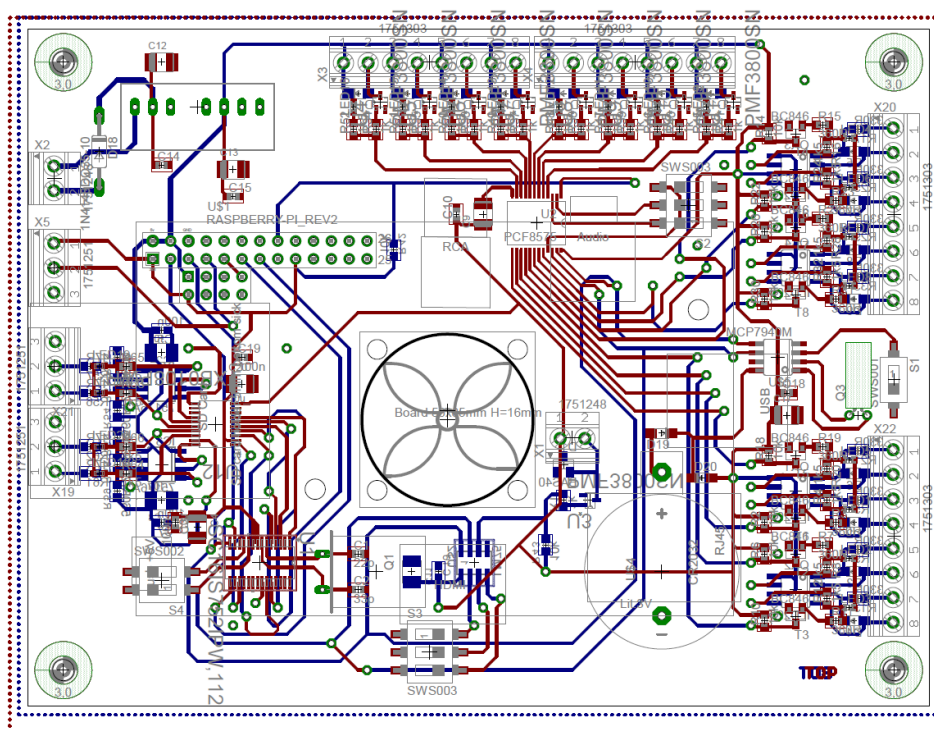
Obrázek 14 Blokové schéma rozšiřující desky

3.3 Navržení rozšiřující desky

Návrh rozšiřující desky o rozměrech 95mm x 125mm byl proveden v programu Eagle 6.5.0. V návrhu jsou použité SMD součástky o různých velikostech pouzdra. Velikost EIA 0603 zahrnuje veškeré rezistory, kondenzátory a LED. Dále velikost pouzdra SMC_B zahrnuje elektrolytické kondenzátory a v použité tranzistory mají velikost pouzdra SOT 23, SOT 26.

Navržení je v oboustranném provedení, kde na horní straně jsou indikační LED expandéru, konvertoru a všechny konektory sloužící k připojení 12V napájení, teplotního čidla Dallas na 3,3V, digitálnímu vstupu a výstupu, 2 kanálům sběrnice RS 485 a chladicího ventilátoru. Z horní strany se vkládá baterie typu CR2032 pro běh hodin reálného času po vypnutí zdroje. Je zde i umístěn měnič napětí, expandér s tranzistory na vstupu i výstupu, konvertor s napěťovým převodníkem a hodiny reálného času.

Na spodní straně desky je umístěno teplotní čidlo s tranzistorem a zenerovou diodou na výstupu, dále jsou zde umístěny optočleny na digitálním vstupu expandéru a převodníky UART. Také je ze spodní strany umístěn konektor pro připojení desky na rozšiřující port Raspberry Pi.



Obrázek 15 Návrh rozšiřující desky

3.4 Realizace rozšiřující desky

Výroba navržené rozšiřující desky byla prováděna v Prototypové laboratoři RC112 katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství. Nejprve bylo vytištěno navržení plošného spoje na pauzovací papír pro každou stranu zvlášť. Vytisknutý návrh byl přiložen na cuprexitovou desku, na kterou je předem nanесena vrstva pozitivu. Poté byla deska s návrhem vložena do osvitové jednotky, kde je velmi důležitá doba osvitu a intenzita UV záření. Takto osvětlená deska byla vložena do vyvolávacího roztoku Na_2CO_3 (uhličitan sodný) a mírným omýváním desky proběhlo vyvolání. Jakmile se zobrazilo navržené schéma, deska byla vložena do leptacího roztoku FeCl_3 (chloridu železitý). Pro kvalitnější, rychlejší leptání, byl roztok zahříván a uměle probubláván. Po úspěšném vyleptání následovalo stripování, odstranění fotorezistu z vyleptané desky pomocí roztoku NaOH (hydroxid sodný).

Před osazování desky součástky proběhlo zkontrolování a otestování na přítomnost zkratů, chybných spojů. Poté následovalo vrtání předem určených děr na konektory, propojení zemnění a pro uchycení. U spojů, kde byla nutnost propojení spodní strany s vrchní, bylo provedeno pokovování. Jakmile se vykonaly všechny potřebné mechanické úpravy, byla nanесena ochranná vrstva proti korozi.

Osazování součástek se provádělo připájením pomocí mikropájkky. Nejprve byly připájeny součástky, které nejsou tepelně náchylné, jako jsou rezistory, diody, konektory. Poté byly na rozšiřující desku osazeny mikročipy a tranzistory.

Rozšiřující deska celkově prošla třemi úpravami, které byly zjištěny během vývoje. První komplikace nastaly v době, kdy rozměr patič neodpovídal návrhu, proto bylo potřeba aktualizovat knihovnu součástek v programu Eagle. Po zhotovení nové prototypové desky, proběhlo osazení a oživení. Po prvotním oživení desky bylo všechno v pořádku, ale jakmile byla provedena první komunikace se zařízeními po sběrnici I^2C bylo zjištěno pochybení v návrhu, kde se zapomnělo na připojení rezistorů sloužících k detekci přerušení na vstupu u expandéru, výstupu teplotního senzoru a konvertoru. Pro odzkoušení a odladění zařízení byly tyto rezistory napájeny dodatečně. Po odladění a odzkoušení se vytvořila nová rozšiřující deska již s přidávanými rezistory.

4 Návrh a implementace ovladače rozšíření.

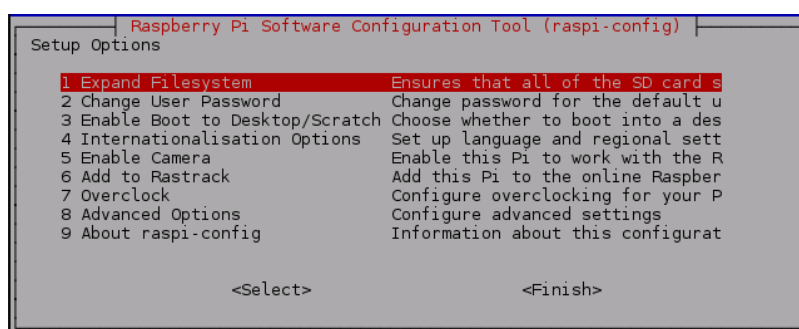
Pro ovládání rozšiřující desky bylo nutné zprovoznění minipočítače Raspberry Pi. Aby počítač fungoval tak jak má, byl nainstalován operačního systému podporující procesorovou architekturu ARM. Pro tento minipočítač počítač je vhodných hned několik druhů operačních systémů jako je Raspbian, Pindora, XBMC, Android a mnoho dalších. Konkrétně pro bakalářskou práci je nejvhodnější linuxový systém Debian, který je optimalizován pro Raspberry Pi nazývaný se Raspbian.

4.1 Instalace operačního systému Raspbian

Pro instalaci systému je dostačující SD karta o velikosti 2GB, ale nastává problém s nedostatkem místa pro ostatní programy. Byla zvolena SD karta o velikosti 8GB pro možnosti rozšíření nainstalovaných programů.

Aby instalace byla správná, musel se do systému Windows nainstalovat Win32DiskImager. Po vložení SD karty do čtečky se spustil program "DiskImager" kde jsme zadali cestu k stáhnutému image souboru "whezy-raspbian.img" a zvolili zařízení odpovídající SD karty. Po úspěšném nastavení byl proveden zápis systému na kartu pomocí tlačítka "write". Poté byla vložena do Raspberry Pi a systém naběhl sám.

Při prvním spuštění naběhl systém do konzole a žádal o zadání přihlašovacích údajů. Tovární přihlašovací jméno je "pi" a heslo "raspberr". Po zadání správných údajů se spustila konzole, aby se spustilo grafické prostředí, bylo nutné zadání příkazu "startx". Nastavení systému Raspbian proběhlo zapsáním příkazu "sudo raspi-config" do konzole a poté se zapnul základní menu



Obrázek 16 Základní menu Raspberry Pi

Na druhém řádku "Change User Password" se nastavilo jiné přihlašovací heslo než je v základu. Nastavením v menu na třetím řádku "Enable Boot to Desktop" bylo provedeno povolení načtení grafického prostředí při spuštění Raspberry Pi. Na osmém řádku spuštěním rozšiřujícího nastavení "Advanced options" byl povolen server SSH pro vzdálenou komunikaci

s RPI. K možnosti vzdáleně komunikovat s počítačem mající operační systém Windows bylo třeba doinstalovat program VNC viewer, který je pro vzdálený přenos plochy a ještě aplikace Putty sloužící ke spuštění vzdálené konzole.

Nastavení přístupu k Raspberry Pi je po Ethernetové síti a do jednotlivých programů se zadává příslušná IP adresa, která byla zjištěna přímo z Raspberry Pi zadáním příkazu `"ifconfig"` nebo zjištěním připojených zařízení v router a v mém případě, kde je Raspberry Pi připojeno k stolnímu počítači, zadáním v terminálu Windows příkaz `"arp -a"` vypíše všechny adresy na dané síti. Aby připojení proběhlo v pořádku, bylo potřeba za IP adresu oddělenou dvojtečkou zadat port, který je defaultně nastaven na hodnotu 5900.

4.2 Návrh ovladače

Na rozšiřující desce jsou čtyři zařízení komunikující pomocí sběrnice I²C. Každé zařízení bylo potřeba otestovat, pro zjištění případné chyby. Aby to bylo možné, muselo proběhnout správné nastavení rozšiřujícího portu Raspberry PI pro sběrnici I²C. Nastavení bylo provedeno zadáním několika příkazů do konzole, které se týkají povolení a upgrade systému.

4.2.1 Příprava platformy

Jelikož je neustále vyvíjena podpora pro Raspberry Pi je dobré před začátkem přípravy platformy provést aktualizaci veškerého software. Nejprve byla provedena aktualizace systému zadáním příkazů v konzole `"sudo apt-get update"` tento příkaz aktualizuje databázi dostupných balíčků ze zdrojů uvedených v souboru `/etc/apt/sources.list` a příkazem `"sudo apt-get upgrade"`, byla provedena aktualizace balíčků, které mají dostupnou novou verzi. V neposlední řadě zadáním příkazu `"sudo RPI-update"` proběhla aktualizace firmwaru Raspberry pi.

Ke zprovoznění sběrnice na Raspberry Pi, bylo nutné ji povolit. Kvůli ochraně jsou sběrnice I²C a SPI v základu zakázány. Povolení se provedlo okomentováním dvou řádků v souboru, který jsem našel na adrese `/etc/modprobe.d/raspi-blacklist.conf` a okomentování bylo prováděno přidáním znaku `#` na začátek řádku do celkového tvaru `#blacklist spi-bcm2708` `#blacklist i2c-bcm2708`. Po uložení upraveného souboru následovalo načtení ovladače I²C zadáním `"modprobe i2c-dev"` do konzole. Tím to příkazem se vytvořily nové dvě zařízení `/dev/i2c-0` a `/dev/i2c-1` Poté byl nainstalován nástroj, pro práci s I²C zadáním příkazu `"apt-get install i2c-tools"`. Ještě než bylo možné pracovat se sběrnici, muselo se vše nahrát do jádra operačního systému zadáním příkazu `"gpio load i2c"`.

Tím to je I²C sběrnice připravena pro komunikaci se zařízeními. Na rozšiřující desce jsou čtyři zařízení, které byly detekovány zadáním příkazu `"i2cdetect -y 1"` pro starší verzi Raspberry

Pi se zdává příkaz "`i2cdetect -y 0`". Jakmile byl zadán příkaz správně, zobrazila se mapa adres I²C sběrnice a ukázala adresy detekovaných zařízení.

```
pi@raspberrypi ~ $ i2cdetect -y 1
      0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:                -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
20: 20 -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
40: -- -- -- -- -- -- -- -- 48 -- -- -- -- 4d -- --
50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
60: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- 6f
70: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
```

Obrázek 17 Mapa I²C detekovaných zařízení v konzole

Zobrazením byly zjištěny adresy zařízení. V případě shodě adres několika zařízení je možné kombinací zapojení pinů A₀, A₁, A₂ změnit na adresu danou výrobcem. Aby bylo možné s konkrétním zařízením komunikovat, muselo se zjistit, kterému zařízení daná adresa přísluší. Ta se určila prostudováním konkrétních katalogových listů a schémata zapojení.

Tabulka 2 Adresy zařízení na sběrnici I²C

Název zařízení	Adresa 8 bit [bin]	Adresa 8 bit [Hex]	Adresa 7 bit [bin]	Adresa 7 bit [Hex]
PCF8575	0100 000(x)	0x40	010 0000	0x20
LM75	1001 000(x)	0x90	100 1000	0x48
SC16IS752	1001 101(x)	0x9A	100 1101	0x4D
MCP7940M	1101 111(x)	0xDE	110 1111	0x6F

x=log 0 pro zápis, x=log pro čtení

Komunikace I²C sběrnice je po 8 bitech, ale adresa zařízení je jen 7 bitová. První bit slouží k určení, zda bude probíhat čtení nebo zápis. Pro odzkoušení čtení dat ze zařízení nebo zápis se provádělo zadáním příkazu v konzole. Pro čtení byl zadáván příkaz "`i2cget -y 1`" a pro zápis "`i2cset -y 1`". Aby příkazy byly plnohodnotné, je třeba zadat adresu zařízení, adresu registru a při zápisu se zadává jako třetí hodnota registru. Formát zadávaných adres a hodnot registru je v hexadecimální soustavě.

4.3 Otestování zařízení

Po připojení k napájení rozšiřující desky probíhalo prvotní oživení a detekování zařízení požitých na rozšiřující desce. Pro vyzkoušení funkčnosti všech zařízení komunikující po sériové sběrnici I²C, bylo potřeba provedení zápisu a čtení pomocí příkazů v konzole.

4.3.1 Ověření funkčnosti PCF8575

Čip PCF8575 je 16 bitový expandér, který je rozdělen na dva porty po 8 vstupně výstupních pinech. Slouží k rozšíření desky o osm digitálních vstupů a osm digitálních výstupů. Prvotní komunikace se zařízením PCF8575 se provádělo v konzole.

Zadáním příkazu `"i2cset -y 1 0x20 0xff 0xff"` se odzkoušelo zapisování hodnot a změna parametru příslušných pinů, kde konkrétním příkazem bylo zapsáno na každý pin log 1. V příkazu první hexadecimální hodnota (`0x20`) představuje adresu zařízení a zbylé dvě hodnoty (`0xff` a `0xff`) jsou registrační adresy. První hodnota představuje zápis na první port a druhá hodnota pro zápis na druhý port. Zapisované hodnoty jsou v 8 bitovém formátu, tudíž každý bit představuje zápis log hodnoty na pin ve stejném pořadí, jako se nachází bit v byte. Pro nastavení výstupního portu na desce musí na daných pinech být log 0 znamenající zápis hodnoty. V příkazu představuje první hodnotu a ve schématu mikročipu piny P00-P07. Nastavení vstupního portu se provedlo obdobně, jen na daných pinech musí být log 1, která znamená čtení hodnot a v příkazu druhou hodnotu nastavujících pinů P10-P17.

Pro čtení byl zadán příkaz v konzole `"i2cget -y 1 0x20 0xff w"` zobrazující všechny porty, které byly nastaveny na logickou 1. Zobrazení vstupních hodnot je ukazováno v obráceném pořadí jak při zápisu a to že první hodnota představuje piny P10-P17 a druhá hodnota představuje piny P00-P07. Proto aby nastalo čtení vstupních portu je nutností proběhnout přerušení.

4.3.2 Ověření funkčnosti LM75

Čip LM75 je teplotní senzor s termostatem, který spíná na dvě úrovně a to maximální nebo minimální teplotu. Senzor má čtyři registry o adresách `"0x00, 0x01, 0x02, 0x03"`. Pro účinné odvětrání vyprodukované teploty byl nastaven termostat spínání odvětrávacího ventilátoru na 35 °C. Odzkoušení funkčnosti teplotního čidla bylo prováděno v konzole. Aby bylo možné vyzkoušet termostat, bylo třeba nastavení několika parametrů zapsáním požadovaných hodnot na dané registry. Jelikož maximální hodnota termostatu nastavena továrně na 80°C musela se na registr (`0x03`) zapsat požadovaná maximální hodnota zadáním příkazu `"i2cset -y 1 0x48 0x03 0x23"`. První hexadecimální hodnota (`0x48`) představuje adresu zařízení, druhá hodnota je adresa registru, kde (`0x23`) je jeho nastavovaná hodnota. Ještě se nastavila hystereze na hodnotu 30°C zadáním příkazu `"i2cset -y 1 0x48 0x02 0x1E"`. Zapsáním hodnoty na registr (`0x02`) zapříčiní,

aby ventilátor neustále neběžel, ale pouze v rozmezí 5 °C. V neposlední řadě se musel nastavit provozní stav termostatu a jeho povolení zapsáním hodnoty na konfigurační registr příkazem "i2cset -y 1 0x48 0x01 0x04" kde hodnota (0x04) je nastavena podle Tabulka 3.

Tabulka 3 Vnitřní registry LM75[12]

Název registru	Adresa [hex]	Čtení/Zápis	Výchozí nastavení	Popis registru
Konfigurace	0x01	Čtení/Zápis	0x00	Nastavení provozního stavu zařízení pomocí 8 bitů
Teplota	0x00	Čtení	není	Naměřená teplota rozdělena do dvou bajtů (Horní bajt a Dolní bajt)
Max teplota	0x03	Čtení/Zápis	0x50	Maximální hodnota proti přehřátí a hranice termostatu. Hodnota je rozdělena do dvou bajtů, výchozí je 80 °C
Hystereze	0x02	Čtení/Zápis	0x4B	Limitní hystereze termostatu. Hodnota je rozdělena do dvou bajtů, výchozí 75 °C

Pro odzkoušení měření teploty byl zadán příkaz "i2cget -y 1 0x48 0x00", kde použitý registr v příkazu je pro zobrazení naměřené hodnoty a tudíž tento registr je pouze pro čtení. Zadáním adres registru (0x02, 0x03, 0x01) do příkazu pro čtení se zjistí jaká je momentálně zapsaná neboli nastavena hodnota na daném registru.

Tabulka 4 Konfigurační registr[12]

Bit	Hodnota	Popis
B[4:3]		Série překročení maximální hodnoty, aby nastalo sepnutí výstupu
	00*	Série hodnot překročení = 1
	01	Série hodnot překročení = 2
	10	Série hodnot překročení = 4
	11	Série hodnot překročení = 6
B 2		Nastavení polarity
	0*	Aktivace sporní hranice hodnot
	1	Aktivace horní hranice hodnot
B 1		Nastavení provozního režimu
	0*	Komparátor
	1	Přerušení
B 0		Nastavení provozu zařízení
	0*	Běžný provoz
	1	Vypnutí zařízení pro úsporu energie

4.3.3 Ověření funkčnosti MCP7940M

Čip MCP7940M pomocí krystalu generuje hodiny reálného času. Hodiny jsou napájeny baterií, která zajišťuje uchování nastavených dat. Testování funkčnosti a přesnosti generování hodin reálného času bylo prováděno v konzole. Zápis hodnot na registr je ve formátu BCD kódu. Konkrétně to znamená, že zapisující požadovaná hodnota se zadává v hexadecimálním tvaru o stejné hodnotě jako je reálná, tudíž bez převodu z decimální hodnoty na hexadecimální. Pro prvotní spuštění hodin bylo potřeba jejich přesného nastavení hodnot registru podle aktuálního času.

Pro nejpresnější nastavení času, bylo potřeba zapisovat hodnoty na dané registry od let až naposled sekundy a také kvůli spuštění hodin, které se aktivovali zadáním příkazu `"i2cset -y 1 0x6f 0x00 0x80"` zapisující hodnotu sekund. První hexadecimální hodnota (`0x6f`) v zadaném příkazu je adresa zařízení, následující hodnota (`0x00`) znamená adresa vnitřního registru sekund a na tuhle adresu se zapsala hexadecimální hodnota (`0x80`). Tato hodnota týkající sekund je o velikosti 8 bitů, která je rozdělena do tří částí kde Bit 7 aktivuje hodiny a zbylé dvě části jsou hodnoty sekund v BCD kódu. Pro přehlednost se nastavila hodnota sekund na 00. Pro následující nastavení hodnot času se nastavila daná aktuální hodnota. Daná hodnota se zadávala v hexadecimálním formátu v BCD kódu. Nastavením 34 minut se zapsala hodnota v příkazu do konzole ve tvaru `"i2cset -y 1 0x6f 0x01 0x34"` Stejným způsobem zápisu se zadávají hodnoty pro zbylé registry viz Tabulka 5 s výjimkou pro nastavení sekund. Změny nastavené hodnoty registru lze vynulovat zadáním hexadecimální hodnotou (`0x00`) pro časové registry a hodnotou (`0x01`) registry týkající se nastavení data. Po zadání těchto parametru a zadání aktivčního příkazu proběhlo ověření přesnosti hodin reálného času.

Pro ověření běhu hodin byl zadán příkaz `"i2cget -y 1 0x6f 0x00"`, který v konzole zobrazoval aktuální hodnotu sekund, a opakovaným zadáním příkazu bylo vidět pravidelně měnící se hodnotu. Poté proběhlo ještě ověření, zda hodiny běží při odpojení napájení rozšiřující desky a vložená baterie zachovává jejich správný chod. Po opětovném spuštění minipočítače bylo potřeba zadat příkaz `"i2cget -y 1 0x6f 0x01"` zobrazující aktuální hodnotu minut, kvůli ověření zda se hodiny pouze nespustili při připojení napájení rozšiřující desky a opravdu zobrazovaly skutečnou hodnotu.

Tabulka 5 Skladba adres vnitřních registrů MCP7940M[15]

Adresa registru	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Funkce	Rozsah	Reset
0x00	START	Desítky sekund			Sekundy				Sekunda	00-59	0x00
0x01		Desítky minut			Minuty				Minuta	00-59	0x00
0x02		*24	Desítky hodin	Desítky hodin	Hodiny				Hodina	00-23	0x00
		12	AM/PM							1-12 AM/PM	
0x04				Desítky dnů		Dny				Den	01-31
0x05			LP	Desítky měsíce	Měsíce				Měsíc	01-12	0x01
0x06	Desítky let				Roky				Rok	00-99	0x01

4.3.4 Ověření funkčnosti SC16IS752

Čip sloužící k převodu sběrnice I²C a dvou kanálů standardu RS485. Převod probíhá obousměrně a sériová sběrnice RS 485 je plně duplexní. Otestování zařízení probíhalo v konzole. Protože pro prvotní testování převodu zařízení nebylo k dispozici zařízení, které by četlo nebo zapisovalo pomocí sběrnice RS 485, proto testování probíhalo zapisováním dat na paměť zařízení SC16IS752 pomocí příkazu "i2cset -y 1 0x4d 0x30 0x25", kde hexadecimální hodnota (0x4d) je adresa zařízení, dále adresa registru (0x30) je osmi bitová adresa, která se skládá ze 4 bitů vnitřní funkce, a dvou bitů určující číslo využívaného kanálu viz Tabulka 6. Hexadecimální hodnota (0x25) je hodnota zapsaná do registru, který zapsané data uloží do vnitřní paměti a poté se pošle na výstup RS 485, který byl zobrazován osciloskopem pro ověření, zda jsou data vysílána. Ověření zápisu dat také indikovala příslušná LED na výstupu, která začne blikat, zda jsou data vysílána. Zadáním příkazu "i2cget -y 1 0x4d 0x30", bylo přečteno, jaké data jsou zapisována na daný registr. Pro čtení dat na vstupu je potřeba vnitřního přerušení, které potvrdí čtení dat.

Tabulka 6 Skladba adres vnitřního registru SC16IS752[14]

Bit	Název	Funkce
7	-	Nepožívá se
6:3	Adresa funkce	UART rejstřík vnitřních funkcí
2:1	Kanál 1, Kanál 2	00=Kanál A 01=Kanál B 10=Rezervováno 11=Rezervováno

5 Návrh měřicí aplikace

Aby bylo možné ovládat a zobrazovat naměřené data ze všech zařízení najednou, bylo potřeba vytvořit program, který dokáže číst a zapisovat na sběrnici I²C. Daný program byl vytvořen pomocí programovacího jazyka C. Pro efektivnější tvorbu aplikace, je nainstalováno na Raspberry Pi vývojové prostředí Geany zadáním příkazu v konzole `"sudo apt-get install geany"`. V tomto vývojovém prostředí byly vytvořené jednotlivé programy pro každé zařízení. Pro komunikaci se sběrnici I²C se využívá přístupová knihovna Wiring Pi napsaná v jazyce C pro ovládání čipu BCM2835 používané v Raspberry Pi. Při vytváření konkrétního programu, byla knihovna nahrána přidáním řádku `"# Include <wiringPII2C.h>"` a následným kompilováním v konzole zadáním příkazu ve formě `"gcc název_programu.c -o název_spouštěče -lwiringPi"`. Zmíněná knihovna využívá několik základních funkcí pro ovládání zařízení, které jsou datového typu `"Int"` a i jejich návratová hodnota je taky datového typu `"Int"`

wiringPiI2CSetup(int dID)

Funkce je pro identifikaci zařízení, kde atribut funkce `dID` představuje adresa zařízení. Pomocí této funkce program zjistí, jakým zařízením bude pracováno, zapisováno nebo čteno. Pro zápis čtení hodnot slouží dvě funkce, které jsou rozděleny podle složitosti ovládání daného zařízení.

wiringPiI2CWrite(int fd, int data)

Tato funkce je pro zápis hodnoty bez nutnosti zadávání adresy vnitřního, kde atribut funkce `fd` je vrácena hodnota funkce `wiringPiI2CSetup` jako identifikace načteného zařízení a atribut `data` je zadávaná hexadecimální hodnota, kterou chceme zapsat.

wiringPiI2CWriteReg8(int fd, int reg, int data)

Funkce je pro zápis hodnot do zařízení obsahující vnitřní registry a je podobná funkci jako zápisu do zařízení bez registru. Tato funkce navíc obsahuje atribut `reg` znamenající hexadecimální hodnotu adresy vnitřního registru. Do této funkce lze zapsat hexadecimální hodnotu o velikosti 8 bitů, ale je možné využít i 16 bitové funkce, která se projeví změnou v názvu z `Reg8` na `Reg16`.

wiringPiI2CRead(int fd)

Funkce je pro čtení ze zařízení u, kterých není třeba přistupovat k registrům a stačí pouze zadávat atribut funkce `fd` udávající vrácenou hodnotu identifikační funkce.


```
wiringPiI2CReadReg8(int fd, int reg)
```

Funkce je pro čtení hodnot ze zařízení využívající vnitřní registry. Funkce je podobná jako předešlá pro čtení, ale má navíc atribut `reg` znamenající adresu vnitřního registru daného zařízení. Adresa registru je hexadecimální hodnota a přečtená hodnota je o velikosti 8 bitů, ale je možné použití funkce umožňující 16 bitové velikosti změnou hodnoty ve funkci `Reg8` na `Reg16`. [19]

5.1.1 Program na PCF8575

Pomocí tohoto programu expandér na výstupních pinech rozšiřující desky vytvořil řetězec měnících výstupních hodnot neboli takzvaného hada.

V program jsou použity dvě funkce z knihovny `wiringPi`. Při spuštění program identifikuje zařízení funkcí na 18 řádku. Jestliže zařízení potvrdí identifikaci na sběrnici I²C ,potom se tedy zapíše návratová hodnota z dané funkce do parametru „`fd`“. Cyklus `while` na 15 řádku způsobí opakování po dobu opakování vnitřního cyklu `while` na 19 řádku trvající 21 cyklu kdy je každý cyklus zpožděný 500ms. Každým vnitřním cyklem proběhne zápis hodnoty do expandéru pomocí funkce na 23 řádku. Hodnota dioda `[i]` závisí na aktuálním probíhajícím cyklu, který přiřazuje danou hexadecimální hodnotu z pole hodnot na 7 řádku.

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <wiringPi.h>
3  #include <wiringPiI2C.h>
4  #include <stdlib.h>
5
6
7  unsigned char diod[16] =
8  {0x01,0x02,0x04,0x08,0x10,0x20,0x40,0x80,0xc0,0xe0,0xf0,0xf8,0xfc,0xfe,0xff,0x00};
9
10 int fd;
11 int dID = 0x20; // Adresa PCF8575 na i2c
12
13 int main () {
14
15     if((fd=wiringPiI2CSetup(dID))<0){ //Identifikace zařízení
16     printf("Takove zarizeni neni ...\n\r");
17     }
18
19     while(1){
20     int i = 0;
21         while(i<16)
22         {
23             wiringPiI2CWriteReg8 (fd,diod[i],0xff);//zapis 8 bitové hexadecimální
24             hodnoty
25             delay(500);//zA?pis je spoLl□ZovA?n 500ms
26             i++;
27         }
28     }
29
30     return 0;
31 }
32
```

5.1.2 Program na LM75

Pomocí programu lze nastavit mikročip jako termostat sloužící ke spínání ventilátoru chlazení rozšiřující desky a ve stejnou dobu zobrazovat aktuální naměřenou teplotu. V program jsou použity tři funkce z knihovny `wiringPi`.

Při spuštění programu proběhne nejprve funkce identifikace zařízení na řádce 17, zda je připojeno na sběrnici I²C. Po správné identifikaci se program zeptá, jestli je třeba nastavit termostat a po potvrzení stisknutí "y" se na požádání zadávají hodnoty pro termostat. Po zadání se hodnoty zapisou do vnitřních registrů funkcemi na řádcích 40, 42, 43. Jakmile je dokončen zápis, program se dostane do cyklu `while` na řádce 46, kde probíhá čtení z vnitřního registru a výpis teplotu pomocí funkce na řádce 48. Cyklus je zpožděn 1000ms.

```

1  int main()
2  {
3      char val;
4
5      if((fd=wiringPiI2CSetup(dID))<0) //Identifikace zařízení
6      {
7          printf("Takove zarizeni neni ...\n\r");
8          return 0;
9      }
10
11     printf("Nastavit termostat [y/n]? \n"); //Stisknutím y proběhne nastavení
12     termostatu
13     scanf (" %c", &val );
14
15     if (val == 'y')
16     {
17
18         printf("Zadejte max hodnotu termostatu(30) \n"); //Zadání horního limitu
19         termostatu,
20                                     v závorce doporučená hodnota
21         scanf ("%i",&maxh);
22
23         printf("Zadejte min hodnotu termostatu(28) \n"); //zadání dolního limitu
24         termostatu,
25                                     v závorce doporučená hodnota
26         scanf ("%i",&hysth);
27
28         printf("Zadejte nastavení termostatu(4) \n"); //nastavení termostatu
29         scanf ("%i",&confh);
30
31         wiringPiI2CWriteReg8 (fd,max,maxh); //funkce pro zápis hodnoty do vnitřního,
32                                     registru
33         wiringPiI2CWriteReg8 (fd,hyst,hysth);
34         wiringPiI2CWriteReg8 (fd,conf,confh);
35     }
36
37     while(1)
38     {
39         printf("Teplota: %d °C\r",wiringPiI2CReadReg8 (fd,0x00)); //vypsání hodnoty
40         naměřené
41                                     teploty
42         delay(1000); //vypsání hodnoty je
43                                     zobrazována každých
44         1000ms
45
46         fflush(stdout); //funkce vypisující hodnotu na jeden řádek
47     }
48     return 0;
49

```

5.1.3 Program na MPC7940M

Program umožňuje nastavení hodin reálného času a zobrazení aktuálního času a data. Níže zmíněný program je neúplný, ale zobrazuje všechny použité funkce z knihovny `wiringPi`. Nejsou znázorněné funkce, které se opakují, a jen se mění jejich atribut funkce.

Při spuštění program proběhne identifikace zařízení na sběrnici I²C pomocí funkce na 9 řádku. Poté se program zeptá, zda je potřeba nastavit hodiny a po potvrzení stisknutí klávesy „y“ se na požádání zadají všechny potřebné parametry pro nastavení aktuálního času. Funkcemi na řádcích 19 a 23 se zapíší zadané hodnoty do příslušného vnitřního registru. Poté program bude v cyklu `while` na řádku 26, který je zpožděn 1000ms. Uvnitř cyklu na řádku 28, 30 jsou funkce pro čtení hodnot z příslušného vnitřního registru a poté jsou vypisovány. Kvůli zápisu hodnot v BCD kódu do vnitřního registru se musejí zobrazovat načtené hodnoty jako hexadecimální.

```

1  int main () {
2
3      char val;
4
5      if (hd=wiringPiI2CSetup(dID)<0) {
6          printf("Takove zarizeni neni ...\n\r");
7      }
8      printf("Nastavit hodiny [y/n]? \n"); //Stisknutím y proběhne nastavení hodin
9      scanf (" %c", &val );
10
11     if (val == 'y')
12     {
13         printf("Zadejte hodnotu sekund \n");
14         scanf ("%x",&sech);
15         wiringPiI2CWriteReg8 (hd,sec,sech+0x80); //Funkce zápisu 8bitových hodnot
16
17         printf("Zadejte hodnotu minut \n");
18         scanf ("%x",&minh);
19         wiringPiI2CWriteReg8 (hd,min,minh);
20
21     }
22     while(1){
23         //sec,min,hod,den,mes,rok,dny
24         x[0]=wiringPiI2CReadReg8 (hd,sec); //Funkce čtení 8 bitových hodnot
25
26         x[1]=wiringPiI2CReadReg8 (hd,min);
27
28         printf("%x:%x:%x %x.%x.%x \r",x[2],x[1],x[0]-0x80,x[3],x[4],x[5]);
29
30         fflush(stdout); //Funkce pro výpis hodnot na jeden řádek
31         delay(1000);
32
33     }
34
35     return 0;
36
37 }
```

5.1.4 Program SC16IS752

Program umožňuje využití mikročipu k přenosu dat po sériové sběrnici UART a sběrnici I²C. V programu je zadána hodnota, která je zaslána na výstup UART a poté je přečtena na vstupu UART.

Při spuštění program proběhne identifikace zařízení na sběrnici I²C pomocí funkce na 16 řádku. Po úspěšné identifikaci program požádá o vybrání nejvhodnějšího přenosu dat. Po této volbě se zadá hodnota, která se má přenést po sběrnici UART. Pomocí funkce na 29 řádku se zadaná hodnota zapíše do registru a zašle danou hodnotu na výstupní kanál UART. Protože aby bylo možné v programu využít, i vstupní kanál UART jsou tyto dva kanály propojeny mezi sebou. Proto pomocí funkce na 32 řádku můžeme číst a zobrazovat hodnotu na kanálu 2, odeslanou z kanálu 1.

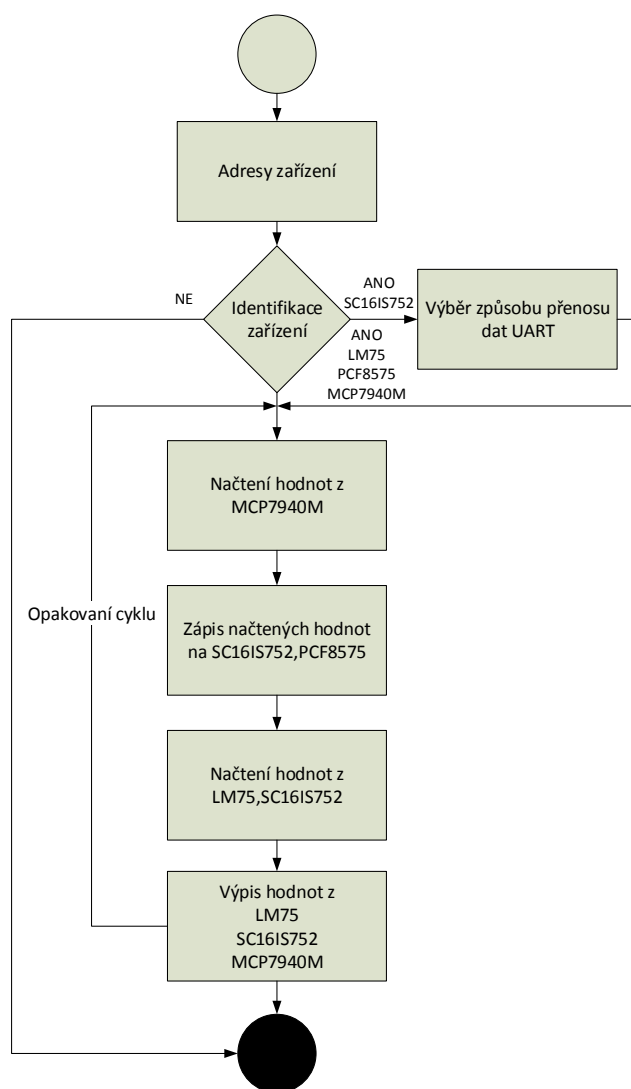
```

1  #include <wiringPi.h>
2  #include <wiringPiI2C.h>
3  #include <stdio.h>
4  #include <stdlib.h>
5
6  int reg[4] = {0x00,0x30,0x38};
7  int fd;
8  int dID = 0x6f; // Adresa SC16IS75 na sběrnici i2c
9  float t,c;
10
11 int main () {
12
13     int pom;
14     int hodnota;
15
16     if ((fd=wiringPiI2CSetup(dID))<0) {
17         printf("Takove zarizeni neni ...\n\r");
18         return 0;
19     }
20
21
22     printf("Vyberte druh přenosu 1(THR) 2(TCR) 3(TLR) \n");//Výběr typu přenosu
23     dat
24     scanf ("%x",&pom);
25
26     printf("Zadejte hodnotu pro přenos \n");//Zadání hodnoty pro přenos
27     scanf ("%x",&hodnota);
28
29
30     wiringPiI2CWriteReg8 (fd,reg[pom-1],hodnota);
31     delay(100);
32
33     printf("%x\r ", wiringPiI2CReadReg8 (fd,reg[pom-1]+0x02));
34     delay(1000);
35
36     return 0;
37 }
```

5.1.5 Aplikace

Program využívající všechny zařízení na rozšiřující desce nejprve načte adresy zařízení. V následujícím kroku proběhne identifikace všech zařízení. Pro zařízení SC16IS752 program vyžádá způsob přenosu dat výběrem vhodného vnitřního registru.

Dále jsou načteny hodnoty z hodin reálného času MCP7940M, kde jedna načtená hodnota je v následujícím kroku zapsána do konvertoru SC16IS752 a expandéru PCF8575. Po zápisu je načtena hodnota z teplotního čidla LM75 a vstupní hodnota na konvertor SC16IS752. V posledním kroku jsou všechny načtené hodnoty vypsány. Všechny kroky po identifikaci jsou v neustálém cyklu. V programu jsou použity tři funkce z knihovny `wiringPi`. První je funkce pro identifikaci zařízení, dalšími jsou funkce pro zápis 8 bitové hodnoty do vnitřního registru a funkce pro čtení 8 bitové hodnoty z vnitřního registru.



Obrázek 18 Vývojový diagram aplikace

6 Závěr

V bakalářské práci se zabývám návrhem a realizací rozšiřující desky pro zvolenou hardwarovou platformu minipočítače Raspberry Pi. Důležité pro navržení rozšiřující desky je seznámení se samotnou hardwarovou platformou minipočítače a jejím využití v měření veličin obnovitelných zdrojů.

Výsledkem bakalářské práce je navržená deska kompaktního provedení o rozměrech 95 x 125 mm, která rozšiřuje minipočítač o 16 digitálních vstupů a výstupu, dva kanály RS-485, generátor hodinového signálu a teplotní senzor s termostatem. Pro rozšiřující desku jsem vytvořil ovladače zajišťující komunikaci po sběrnici I²C a konfiguraci zařízení použitých na desce s možností přístupu z Ethernetové sítě.

Rozšiřující desku jsem navrhl v programu Eagle 6.5.0. Samotnou výrobu rozšiřující desky jsem provedl v Prototypové laboratoři RC112 katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství, kde byly prováděny veškeré kroky pro vznik funkční desky. Mezi tyto kroky patří především osvětlení, vyvolání, leptání, vrtání, pokovování a napájení součástek. Použité zařízení na rozšiřující desce jsem odzkoušel zadáním příkazů v terminálu. Tímto proběhla první komunikace s rozšiřující deskou a následně bylo možné vyvíjet aplikaci ovládající jednotlivé použité zařízení na rozšiřující desce. Aplikace je vytvořena v programovacím jazyce C s rozšiřující knihovnou `wiringPi`, určenou pro komunikaci se sběrnici I²C. Celkem jsem vytvořil pět programů, z nichž čtyři programy jsou určeny pro konfiguraci zařízení. Poslední pátý program slouží jako aplikace, která zprostředkovává komplexní ovládání všech zařízení na rozšiřující desce jako je čtení teploty, ke které je přiřazen časový údaj, ovládání digitálních vstupů, výstupu a následně naměřené data jsou posílány po sběrnici RS 485.

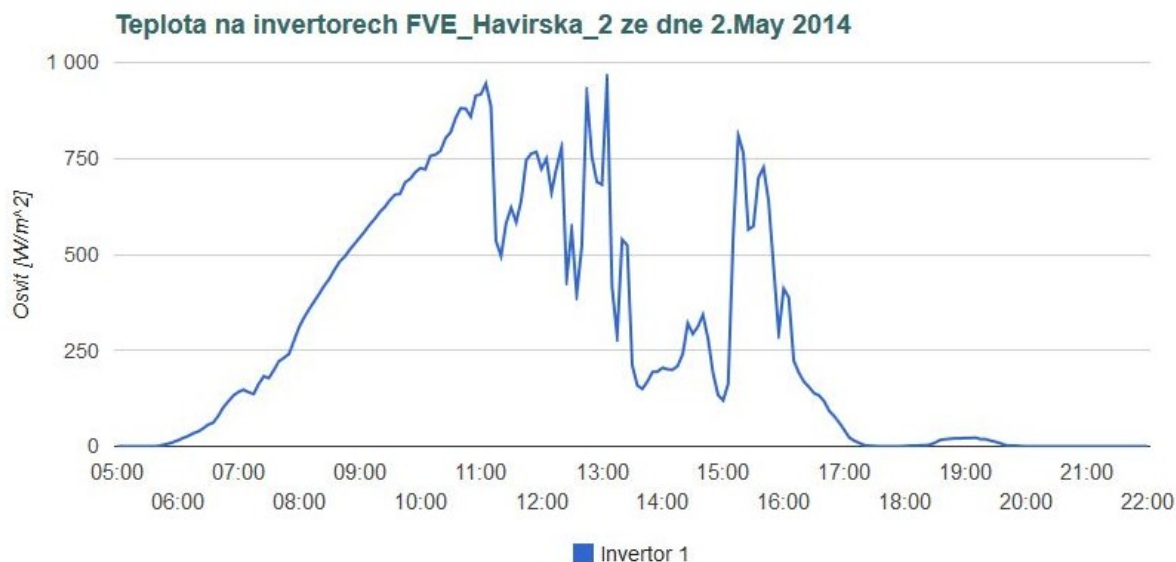
Rozšiřující deska s Raspberry Pi tvoří funkční hardwarové zařízení připraveno k připojení obnovitelnému zdroji energie. K tomuto zařízení se připojí na sběrnici 1 Wire teplotní senzor DS18B20 k měření teploty prostředí a pomocí dvou kanálů RS 485 se připojí napěťový měnič obnovitelného zdroje a příslušná meteostanice pro měření neelektrických veličin. K naměřeným údajům se přidělí čas a budou následně zapisovány do souboru v pravidelných časových intervalech pomocí xml kódu. Část takového kódu je vyobrazena níže.

```

1  <?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="yes"?>
2  <FVE-FCP>
3    <Info FVE ID="500" FVE SPEC="FVE TEST" DateTime="2014-02-05 14:46:01" OnLine="1" />
4    <Invert>
5      <INV id="1" Typ ID="0" OnLine="1" Status="1" ACn="1" DCn="1" Temp="6">
6        <AC id="1" ACDE="0" ACP="4600" ACU="230" ACI="20" />
7        <DC id="1" DCU="2300" DCI="2" DCP="4600" />
8      </INV>
9      <INV id="2" Typ ID="0" OnLine="1" Status="1" ACn="1" DCn="1" Temp="6">
10       <AC id="1" ACDE="0" ACP="4800" ACU="230" ACI="20.86957" />
11       <DC id="1" DCU="2400" DCI="2" DCP="4800" />
12     </INV>
13     <INV id="3" Typ ID="0" OnLine="1" Status="1" ACn="1" DCn="1" Temp="6">
14       <AC id="1" ACDE="0" ACP="5000" ACU="230" ACI="21.73913" />
15       <DC id="1" DCU="2500" DCI="2" DCP="5000" />
16     </INV>
17   </Invert>
18   <Measurement>
19     <TEMP id="1" TMP="27.5">;
20   </Measurement>
21 </FVE-FCP>

```

Tento soubor se zapsanými hodnotami je zasílán na server, kde je již připravena vizualizační aplikace pro zpracování dat. Přijaté data ze souboru jsou vykreslována do grafu a různých vizualizačních zobrazení, podle toho v jakém formátu jsou požadována uživatelem monitorujícího zařízení. Na Obrázek 19 je ve vizualizační aplikaci vyobrazen průběh měření osvit solární elektrárny v závislosti na čase.



Obrázek 19 Osvit solární elektrárny

Hlavní výhodou tohoto zařízení je jeho kompaktnost a možnost připojení k jakémukoliv objektu sloužící k měření, které disponuje připojením sériové sběrnice RS 485. Výhodou je také možnost připojení k Ethernetové síti a díky ní vzniká možnost vzdálené konfigurace zařízení bez přítomnosti obsluhy. Taký díky tomuto připojení lze zasílat naměřené data na server a pomocí vizualizační aplikace je možné si vykreslit přehlednou charakteristiku měřeného objektu, v tomto případě se jedná o obnovitelné zdroje energie.

Vypracování této bakalářské práce sem získal zkušenosti s navrhováním a realizací plošných spojů, dále jsem se seznámil s poměrně novou technologií, jako jsou minipočítače. Také jsem si osvojil zkušenosti v programování v jazyce C, které mohu využít v navazujícím studiu.

Seznam použité literatury

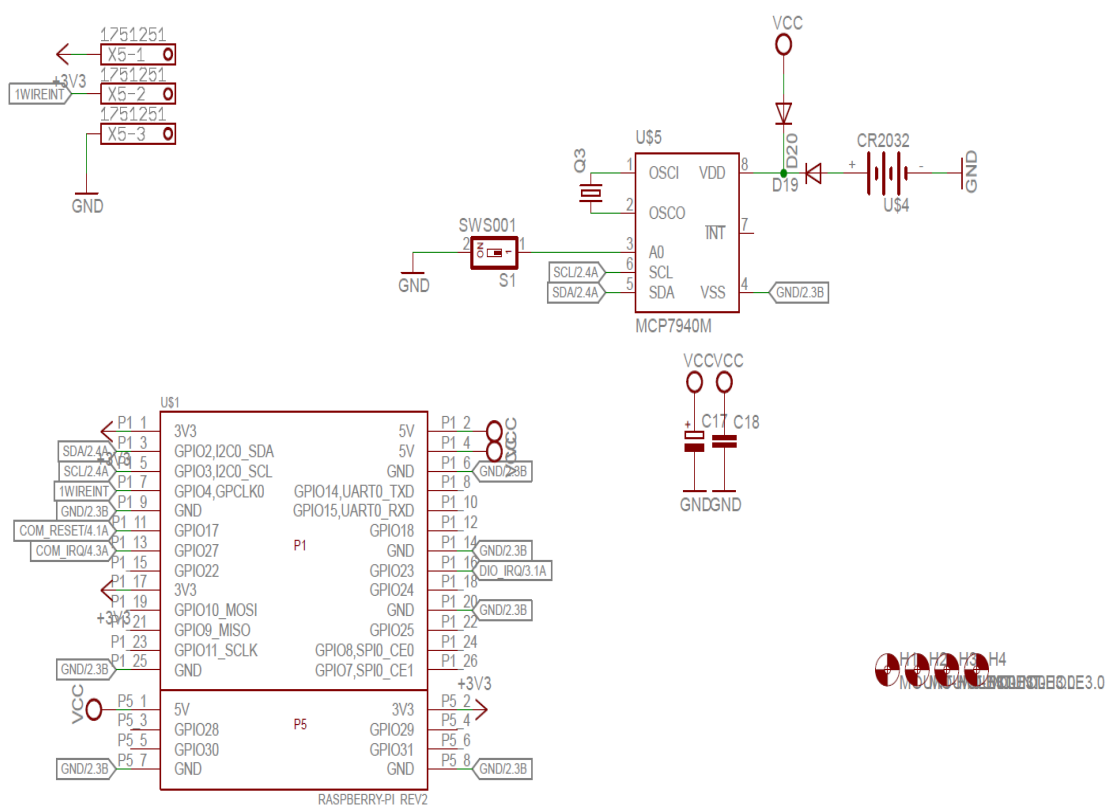
- [1] GOOK, Michael. *Hardwarová rozhraní - Průvodce programátora*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 463 s. ISBN 978-8025110195.
- [2] GOOK, Michael. *Hardwarová rozhraní: průvodce programátora*. Vyd. 1. Brno: Computer Press, 2006, 463 s. ISBN 80-251-1019-2.
- [3] CATSOULIS, John. *Designing Embedded Hardware*. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005, xvi, 377 s. ISBN 978-0596007553.
- [4] KERRISK, Michael. *The Linux Programming Interface: A Linux and UNIX System Programming Handbook*. San Francisco: No Starch Press, c2010, xliii, 1506 s. ISBN 978-1593272203.
- [5] VIRIUS, Miroslav. *Jazyky C a C++, kompletní průvodce*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2011, 367 s. Knihovna programátora (Grada). ISBN 978-80-247-3917-5.
- [6] UPTON, Eben. *Raspberry Pi: uživatelská příručka*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2013, 232 s. ISBN 978-80-251-4116-8.
- [7] KRIDNER, Jason. BEAGLEBOARD. *BeagleBoard* [online]. Dallas: BeagleBoard.org Foundation, 04.12.2013, 04.12.2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <<http://beagleboard.org/Products/BeagleBone%20Black>>
- [8] MINNOWBOARD. *MinnowBoard* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <<http://www.minnowboard.org>>
- [9] CUBIEBOARD. *Cubieboard* [online]. © 2014 Cubieboard [cit. 2014-03-04]. Dostupné z: <<http://docs.cubieboard.org/products/start>>
- [10] HARDKERNEL. *Odroid -X2* [online]. Copyright 2013 Hardkernel co [cit. 2014-03-03]. Dostupné : <http://www.hardkernel.com/main/products/prdt_info.php?g_code=G135235611947>
- [11] TRACO POWER. *TRACO POWER*. Baar Switzerland, 28.3.2014. Dostupné z: <<http://www.tracopower.com/products/tmr6.pdf>>
- [12] TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments*. Dallas USA, © 2000–2013. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm75a.pdf>

-
- [13] TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments*. Dallas USA, © 2005–2007. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/scps121d/scps121d.pdf>
- [14] NXP. *NXP*. Eindhoven Nizozemsko, 22.3.2012. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/SC16IS752_SC16IS762.pdf
- [15] MICROCHIP. *Mikrochip*. Arizona, USA, © 2012 Microchip Technology. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22292A.pdf>
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments*. Dallas USA, © 1994–1995. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/sn75176a.pdf>
- [17] TEXAS INSTRUMENTS. *Texas Instruments*. Dallas USA, © 2006–2012. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/sces643e/sces643e.pdf>
- [18] ANALOG DEVICE. *Analog Devices*. Norwood USA, ©2007–2010 Analog Devices. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7991_7995_7999.pdf
- [19] WIRING PI. *Wiring Pi: GPIO Interface library for the Raspberry Pi* [online]. © 2014 - Wiring Pi [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://wiringpi.com/reference/i2c-library/>

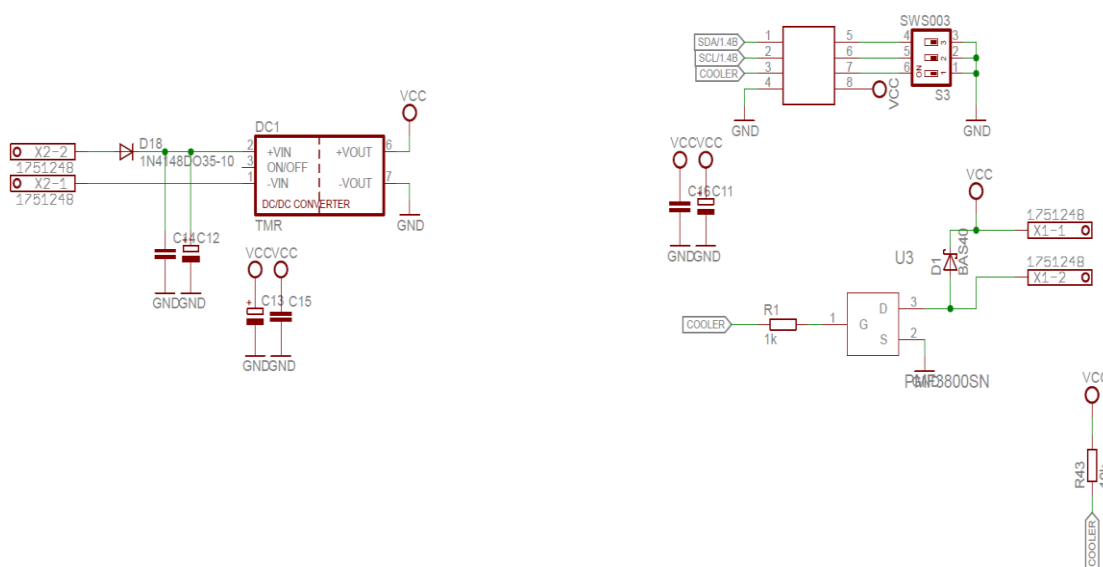
Seznam příloh

Schéma zapojení.....	I
Fotodokumentace.....	IV

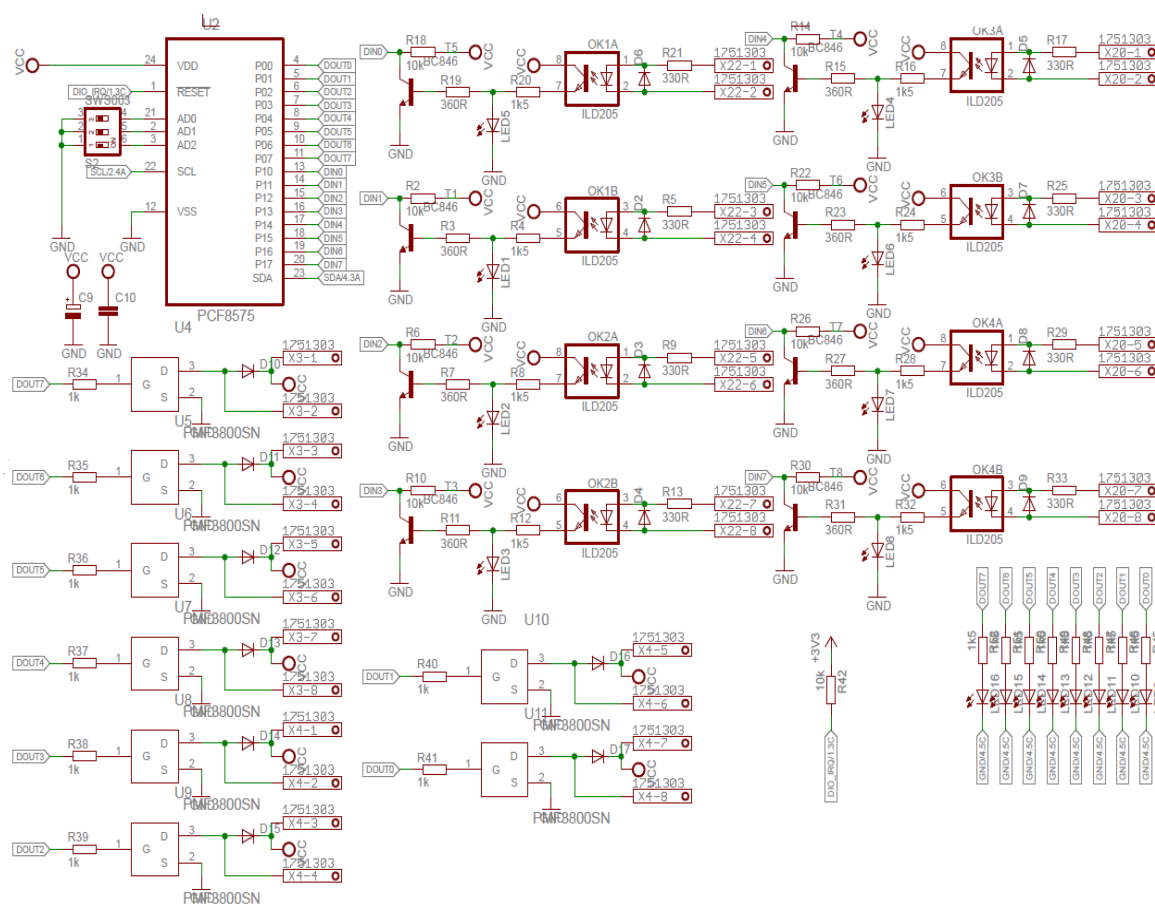
Schéma zapojení



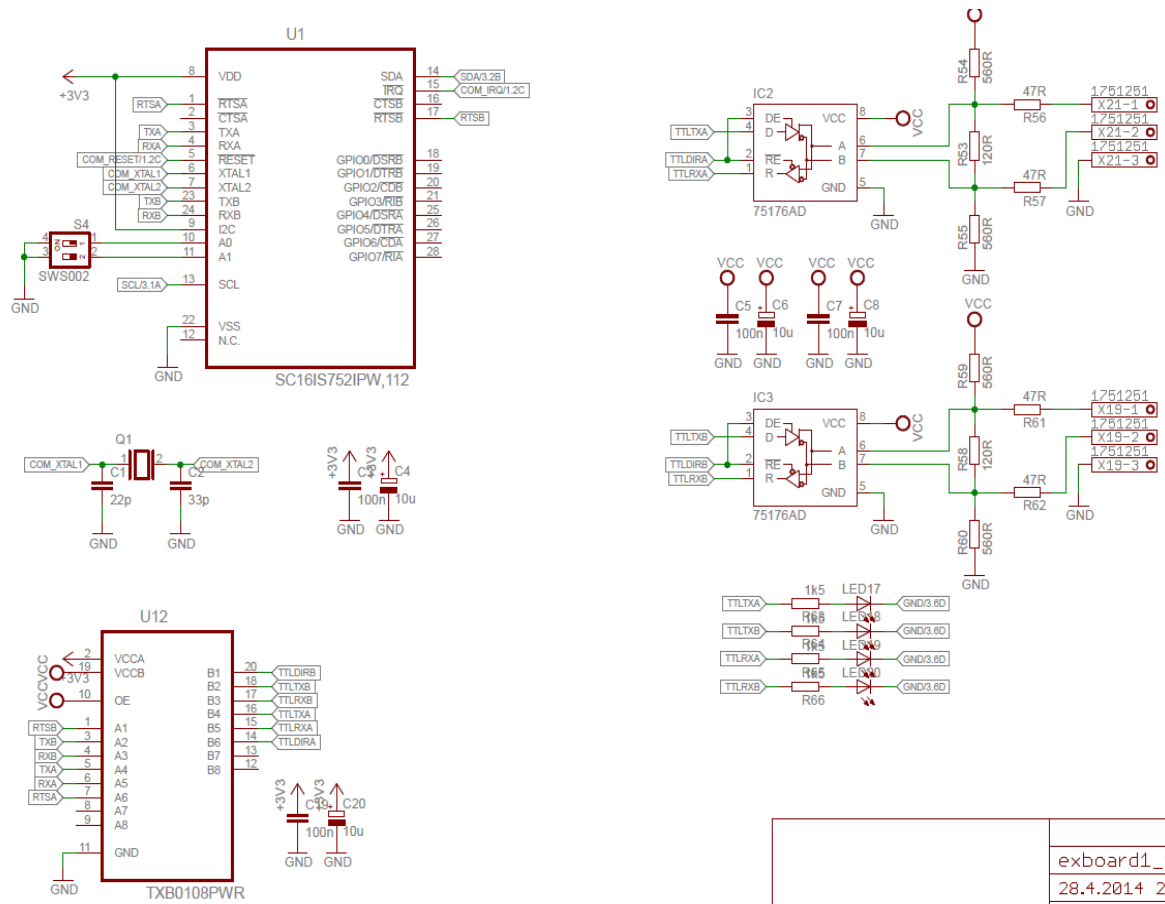
Obr. I Schéma zapojení konektoru Raspberry Pi a MCP7940M



Obr. II Schéma zapojení LM75

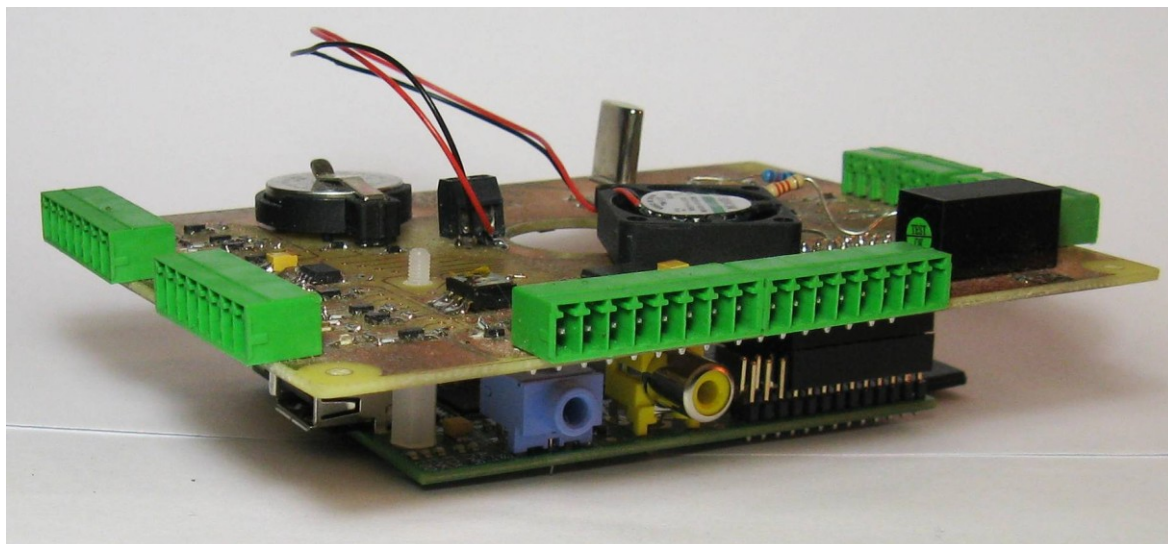


Obr. III Schéma zapojení PCF8575

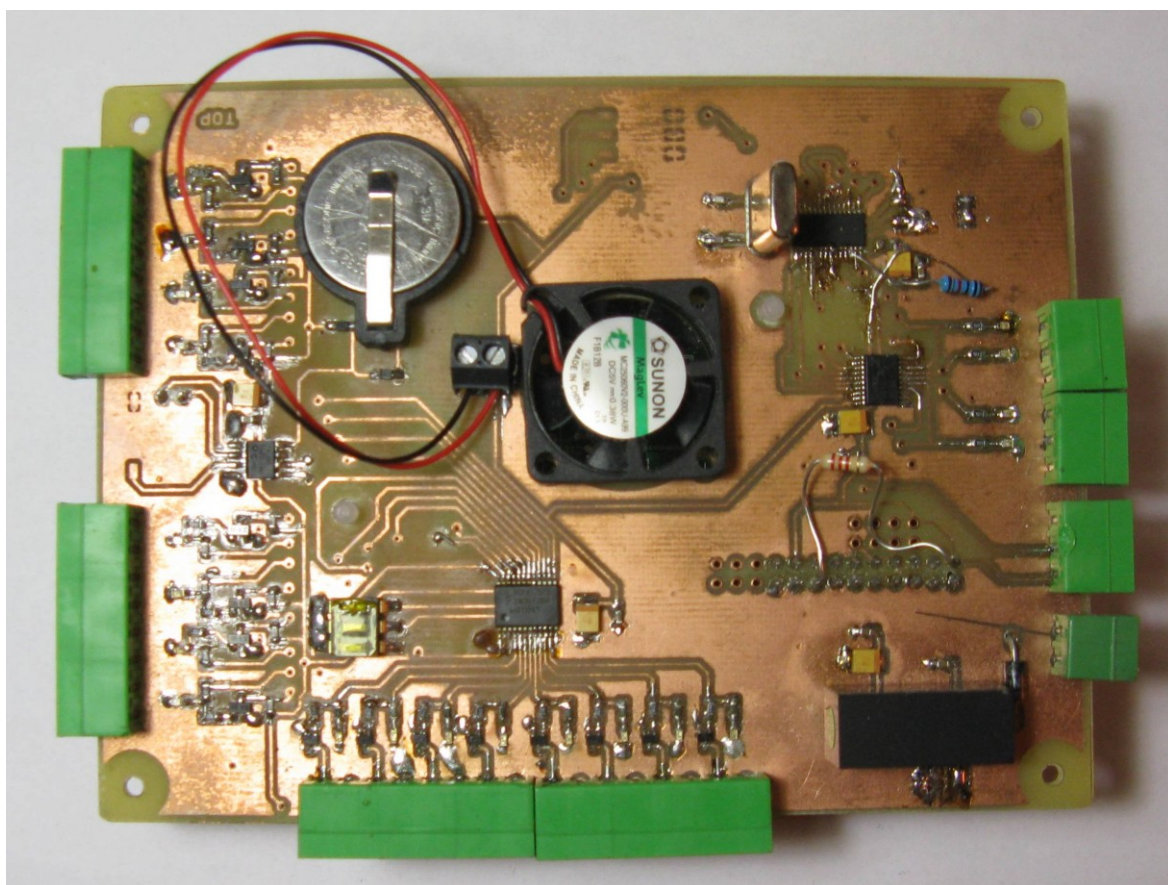


Obr. IV Schéma zapojení SC16IS752IPW a TXB0108PWR

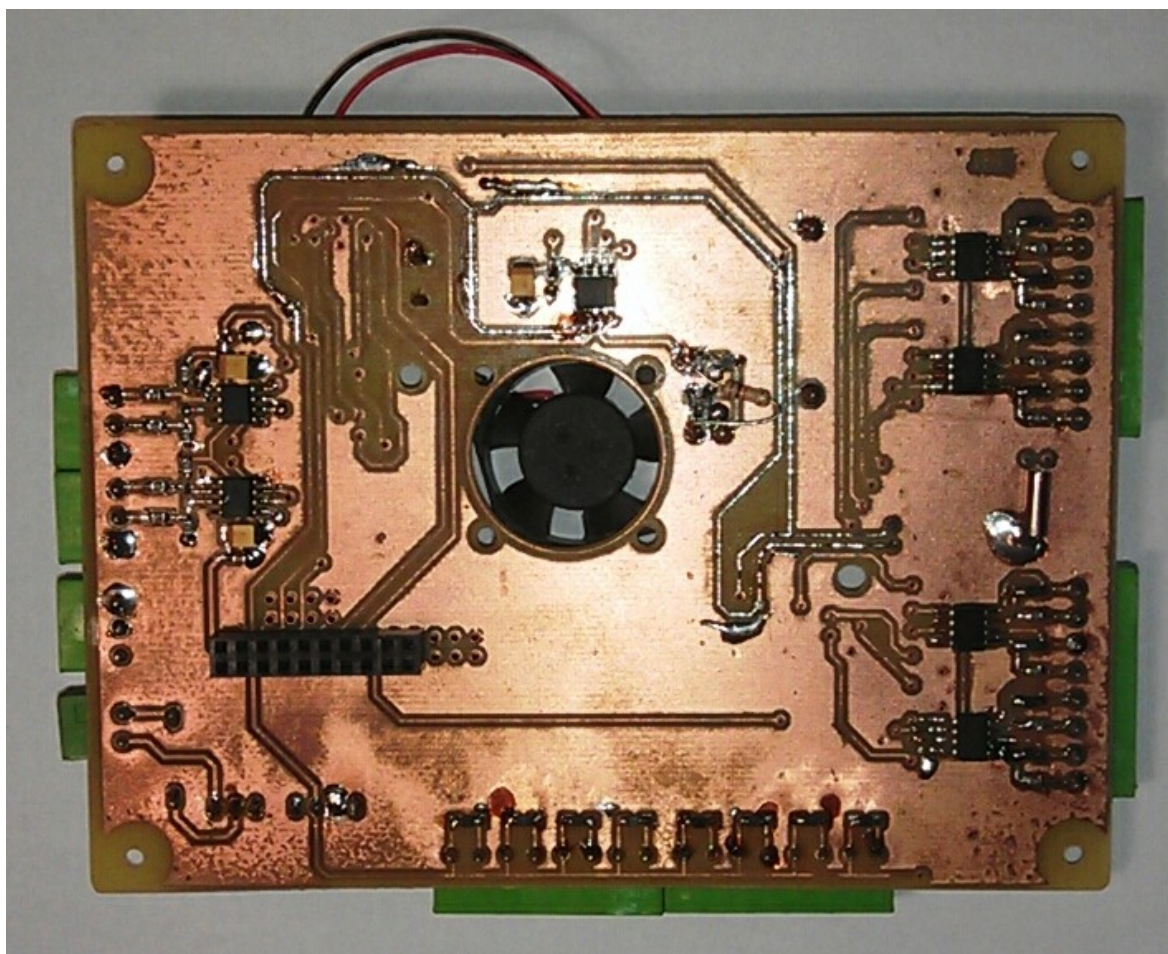
Fotodokumentace



Obr. V Rozšiřující deska s Raspberry Pi



Obr. VI Rozšiřující deska - horní strana



Obr. VII Rozšiřující deska - spodní strana